

服务热线: 400-615-1233

★ 配套精品教学资料包

www.huatengedu.com.cn

GANGJIEGOU JIAGONG ZHIZUO

钢结构 加工制作

策划编辑: 骆菲菲

责任编辑: 谭宏微

封面设计: 黄燕美

ISBN 978-7-5635-7799-6



9 787563 577996 >

定价: 58.00元

校企合作双元开发新形态教材

钢结构加工制作

主 编 王建红 王伟明 崔宏林

北京邮电大学出版社



校企合作双元开发新形态教材

钢结构 加工制作

主 编 王建红 王伟明 崔宏林

主 审 刘雪梅



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

校企合作双元开发新形态教材

钢结构 加工制作

主 编 王建红 王伟明 崔宏林
副主编 赵琳琳 霍自强 张 俏
主 审 刘雪梅



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

内 容 简 介

本书依据钢结构行业发展对专业人才的需求,并结合现行国家标准及高等职业教育建筑钢结构工程技术专业的教学标准编写,注重理论与实际的结合。全书共分为6个项目,分别为建筑钢材、典型钢结构的认识、钢结构焊接连接、钢结构紧固件连接、构件加工与典型钢部件制作、钢结构涂装。

本书既可作为高等职业院校土木建筑类相关专业的教材,也可供相关技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

钢结构加工制作 / 王建红, 王伟明, 崔宏林主编.
北京: 北京邮电大学出版社, 2025. -- ISBN 978-7-5635-7799-6

I. TU391

中国国家版本馆 CIP 数据核字第 2025Y474S4 号

策划编辑: 骆菲菲 责任编辑: 谭宏微 封面设计: 黄燕美

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号

邮政编码: 100876

发 行 部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 河北龙大印务有限公司

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 17.25 插页 1

字 数: 357 千字

版 次: 2025 年 12 月第 1 版

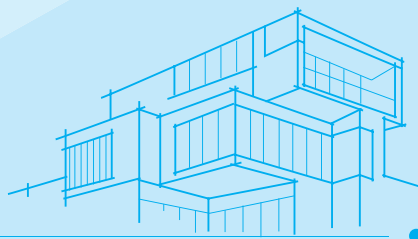
印 次: 2025 年 12 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-7799-6

定 价: 58.00 元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

服务电话: 400-615-1233



前言

随着我国钢产量的快速增长,以及钢结构制造水平和施工技术的不断提高,我国钢结构产业进入高质量发展阶段,对掌握核心加工技能的专业人才需求日益迫切。为全面贯彻党的二十大关于“加快建设教育强国、科技强国、人才强国”的战略部署,落实《国家职业教育改革实施方案》《关于推动现代职业教育高质量发展的意见》等政策要求,深化产教融合、校企“二元”育人机制,破解传统教材与行业发展、岗位需求脱节的问题,编写组在总结近年来教学实践经验的基础上,根据高等职业教育建筑钢结构工程技术专业的教学标准,结合国家“双高”院校建设的教学实践,邀请企业专家共同编写了本书。

本书在编写过程中,突出以下特点。

1. 融入思政元素,筑牢价值根基

本书以党的二十大精神为指引,通过设置“思政卡片”栏目,将职业习惯、职业道德、工匠精神、社会主义核心价值观等思政元素融入教学内容,在教学中落实课程思政要求,实现育人与教学并行,推动“德技并修”。

2. 校企协同开发,对接岗位标准

校企联合梳理“钢结构工程施工员”“钢结构质量检测员”等岗位的工作任务与能力要求,确定全书结构与内容。本书以钢结构零部件制作过程为主线,结合典型构件制作实例,融入企业生产规范,实现教学内容与职业标准、教学过程与生产过程的精准对接。

3. 强化技能培养,赋能职业发展

书中融入“钢结构工程施工员”“钢结构质量检测员”等岗位的职业技能要求,紧扣国家“双高计划”课程教材建设要求,突出学生实践操作能力的培养,做到“教、学、做”一体化,助力学生职业发展。

4. 采用任务驱动,强化自主学习

本书将钢结构零部件的制作过程分解为 22 个学习任务,通过“项目导入—项目资讯—任务说明—核心知识—职业技能—项目拓展—项目测试—项目评价”的一体化设计,构建“任务导向—能力递进—岗位贯通”的培养路径。

本书由渤海船舶职业学院王建红、辽宁省建设事业指导服务中心王伟明和某部队崔宏林担任主编;由葫芦岛市建设工程服务中心赵琳琳、中冶天工集团有限公司霍自强、辽宁城市建设职业技术学院张俏担任副主

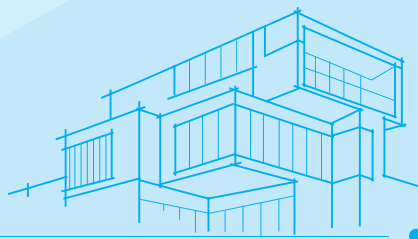


编;渤海船舶职业学院包套图、王金鑫,匠心构筑工程技术(沈阳)有限公司王兴,辽宁广辰项目管理有限公司蔡坤,沈阳市城乡建设局田洪杰,招商局金陵船舶(江苏)有限公司何力,广船国际有限公司孙文茂和锦西化工研究院有限公司高大勇参与编写。具体分工如下:王建红、王伟明编写项目5,王伟明、崔宏林、赵琳琳编写项目1,张俏编写项目2,包套图编写项目3,王建红、霍自强、蔡坤、田洪杰编写项目4,王金鑫编写项目6,蔡坤、田洪杰、何力、王兴、孙文茂、高大勇编写“思政卡片”“项目资讯”“项目拓展”栏目及附录。

全书由王建红负责统稿,渤海船舶职业学院刘雪梅教授主审。渤海船舶职业学院船舶与海洋工程学院赵文辉、李承熹、迟文灏对本书的文字整理与资料收集提供了支持。在编写过程中,编者参考了相关图书、规范与文献,在此向相关作者表示诚挚感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在不足,恳请各位读者批评指正,以便在修订时加以改进。

编 者



目录

项目 1 建筑钢材 1

任务 1.1 建筑钢材的主要力学性能	4
任务 1.2 各种因素对钢材力学性能的影响	11
任务 1.3 钢材制品的种类、规格及选用	15
任务 1.4 钢材的验收	20
项目测试	27
项目评价	27

项目 2 典型钢结构的认识 29

任务 2.1 门式刚架结构	34
任务 2.2 钢桁架屋架结构	45
任务 2.3 网架结构	72
项目测试	88
项目评价	89

项目 3 钢结构焊接连接 91

任务 3.1 钢结构焊接连接的种类及特点	97
任务 3.2 焊缝连接形式及标注	108
任务 3.3 焊缝质量等级及焊缝缺陷	117
任务 3.4 焊接应力与变形	121
任务 3.5 焊接质量检验	127
项目测试	137
项目评价	138



项目 4 钢结构紧固件连接 139

任务 4.1 普通螺栓连接	141
任务 4.2 高强度螺栓连接	152
任务 4.3 其他方式连接	159
项目测试	165
项目评价	166

项目 5 构件加工与典型钢部件制作 167

任务 5.1 构件加工	173
任务 5.2 焊接 H 型钢制作	204
任务 5.3 箱形柱制作	210
任务 5.4 焊接空心球制作	221
任务 5.5 螺栓球制作	225
项目测试	228
项目评价	229

项目 6 钢结构涂装 230

任务 6.1 钢结构的防腐涂装	232
任务 6.2 钢结构的防火涂装	244
项目测试	255
项目评价	255

附录 型钢规格表 257

参考文献 271



项目 建筑钢材



项目导入

钢结构的主要材料为钢材。钢材种类繁多,性能差异较大。要深入认识钢结构的特性,首先应了解钢材,掌握钢材的力学性能、加工工艺、破坏形态以及影响钢材性能的因素,从而在工程应用中合理选择钢材。在保证结构稳定和安全使用的前提下,应尽可能做到节约钢材、降低工程造价。

本项目要求学生完成以下四个学习任务。

- 任务 1.1 建筑钢材的主要力学性能
- 任务 1.2 各种因素对钢材力学性能的影响
- 任务 1.3 钢材制品的种类、规格及选用
- 任务 1.4 钢材的验收



钢材是钢结构中的主要建筑材料,其质量与力学性能直接关系到钢结构的安全使用。在工程实践中,因钢材质量和设计计算不当而引发的工程事故屡见不鲜。

加拿大魁北克大桥建于 20 世纪初期,是当时世界上跨度最长的悬臂桥。该桥由美国工程师西奥多·库珀主持设计,他将大桥跨度由最初的约 488 m 增加到约 549 m,以期建成当时世界上跨度最大的桥梁。然而,在 1907 年 8 月 29 日,大桥南端在建的悬臂部分突然坍塌,导致 75 名工人遇难,仅 11 人生还。这起事故的根本原因在于对结构重量估算不足和设计计算失误。

今天,加拿大工程师毕业时都会佩戴一枚象征性的“铁戒指”,这一传统源于魁北克大桥的悲剧。戒指最初由铁制成,如今多用不锈钢材质。它时刻提醒工程师应以高度的责任感开展设计与施工,确保工程安全可靠。



钢材的种类

钢材的分类方法有多种,按化学成分和用途,可分为碳素结构钢、低合金高强度结构钢、钢丝绳、平行钢丝束、建筑结构用钢板、耐候钢和耐火钢等。

1. 碳素结构钢

根据现行国家标准《碳素结构钢》(GB/T 700—2006)的规定,碳素结构钢分为 Q195、Q215、Q235、Q275 四种牌号。其中,Q 是屈服强度中“屈”字的汉语拼音首字母,后接的阿拉伯数字表示屈服强度数值,单位为 N/mm^2 。阿拉伯数字越大,钢的含碳量越高,强度和硬度也越高,但塑性降低。由于碳素结构钢冶炼工艺相对简单、成本较低,且具有良好的加工性能,因此在工程中应用最为广泛。其中,Q235 钢在使用、加工和焊接方面性能优良,是钢结构常用钢材。

碳素结构钢按冶炼方法可分为氧气转炉钢和电炉钢。供方应提供碳素结构钢的力学性能(机械性能)质量证明书,其内容包括碳、锰、硅、硫、磷等元素的含量。Q235 钢分为四个质量等级,并采用三种脱氧方法。质量等级分为 A、B、C、D 四级,质量要求由 A 级到 D 级逐级提高。不同质量等级对冲击韧性(夏比 V 型缺口冲击试验)的要求不同:A 级无冲击功要求,冷弯试验仅在需方要求时进行;B 级要求 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时纵向冲击功不小于 27 J ;C 级要求 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时纵向冲击功不小于 27 J ;D 级要求在 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时纵向冲击功不小于 27 J 。同时,B、C、D 级还应提供冷弯试验合格证明。不同质量等级的碳素结构钢在化学成分要求方面亦存在差异。

根据冶炼时的脱氧程度,钢材可分为沸腾钢(F)、镇静钢(Z)和特殊镇静钢(TZ)。Q235 钢中,A 级和 B 级可为沸腾钢或镇静钢,C 级和 D 级为镇定钢。Q235 钢的表示方法举例如下。

Q235A——屈服强度为 $235\text{ N}/\text{mm}^2$,A 级钢。

Q235AF——屈服强度为 $235\text{ N}/\text{mm}^2$,A 级沸腾钢。

Q235C——屈服强度为 $235\text{ N}/\text{mm}^2$,C 级镇静钢。

Q235D——屈服强度为 $235\text{ N}/\text{mm}^2$,D 级镇静钢。

2. 低合金高强度结构钢

低合金高强度结构钢是在碳素结构钢中添加少量合金元素而形成的,常用的合金元素有硅、锰、钒、钛、铌等。根据现行国家标准《低合金高强度结构钢》(GB/T 1591—2018)的规定,低合金高强度结构钢分为 Q355、Q390、Q420、Q460、Q500、Q550、Q620、Q690 八个牌号。其中,阿拉伯数字表示规定的最小屈服强度,单位为 N/mm^2 。

钢材牌号通常由基本牌号、质量等级、交货状态及必要的附加符号组成。字母“Q”表示屈服强度,数字表示规定的最小屈服强度值,质量等级用 B、C、D、E、F 表示。交货状态为热轧时,用 AR 或 WAR 表示;正火或正火轧制状态时,用 N 表示。当需方要求钢板具备厚度方向性能时,可在牌号后加注厚度方向性能级别,如 Q355NDZ25。

3. 钢丝绳

钢丝绳由高强度钢丝组成,如图 1-1 所示。钢丝一般采用优质碳素钢制成,经多次冷拔和热处理后可获得较高的强度。在潮湿或露天环境下,常采用镀锌钢丝绳以提高其防锈性能。钢丝绳主要用于吊装、牵引等对强度要求较高的工程。

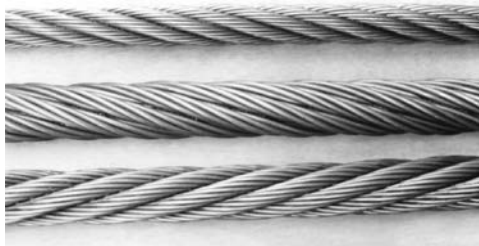


图 1-1 钢丝绳

4. 平行钢丝束

平行钢丝束由若干根相互平行的钢丝组成,可经压制成束或外包防护套,其断面呈圆形(见图 1-2)或正六边形。常用钢丝直径为 5 mm 和 7 mm,采用光面钢丝或镀锌钢丝。平行钢丝束结构紧凑、受力均匀,能充分发挥高强度钢丝的轴向抗拉性能,且不因绞合产生附加伸长,其弹性模量接近单根钢丝。

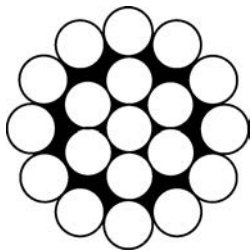


图 1-2 平行钢丝束的圆形断面

5. 建筑结构用钢板

近年来,我国研发出一系列高性能建筑结构用钢板(简称 GJ 钢),并制定了相应的国家标准《建筑结构用钢板》(GB/T 19879—2023)。与碳素结构钢、低合金高强度结构钢相比,建筑结构用钢板具有以下特点:规定了屈强比及屈服强度的波动范围;规定了碳当量(carbon equivalent, CE)和焊接裂纹敏感性指数 P_{cm} ;降低了磷、硫含量,提高了冲击韧性;减



弱了厚度效应对强度的影响。

6. 耐候钢与耐火钢

耐候钢(耐大气腐蚀钢)是一类低合金钢,通常在普通碳钢中加入少量铜、铬、镍等耐蚀元素,以提高耐大气腐蚀性能,从而延长使用寿命,减薄降耗,并节省材料和人工。

耐火钢是在普通钢的基础上提高高温强度的钢材。采用耐火钢可降低防火涂层厚度,部分情况下可在满足防火设计要求时减少或不设置防火涂层。耐火钢的高温强度高于普通钢,通常要求其在 600 ℃ 时的屈服强度不低于常温屈服强度的 2/3。

任务 1.1 建筑钢材的主要力学性能



任务说明

学习任务	任务 1.1 建筑钢材的主要力学性能
学时	2
学习目标	1. 知识目标 (1)掌握钢材的强度、塑性、冷弯性能及冲击韧性等主要力学性能指标; (2)掌握低碳钢拉伸试验的四个阶段及其荷载一位移关系曲线。 2. 能力目标 (1)能够计算伸长率和断面收缩率; (2)能够在团队协作条件下完成低碳钢拉伸试验。 3. 素质目标 (1)能够形成严谨、认真的工作态度; (2)能够树立安全施工与规范操作意识; (3)能够养成团队协作与互助学习精神
学习资源	教材、多媒体课件、教学动画、教学录像、任务单等
学习要求	1. 课前认真预习,充分利用学习资源; 2. 发挥团队合作精神,按要求完成学习任务; 3. 注重相互学习与经验交流,不断提升学习效果与实践能力



核心知识

1.1.1 钢材的强度

钢材拉伸试验是在常温条件下,将钢材试件置于拉力试验机或万能试验机上进行单向均匀拉伸,直至试件拉断的力学性能测试。试验结果通常用单向均匀静力拉伸的荷载一位移曲线或应力—应变曲线表示。图 1-3 所示为钢材试件在单向均匀静力拉伸时的荷载一位移曲线;横坐标表示钢材试件的伸长量(ΔL),纵坐标表示荷载(P)。

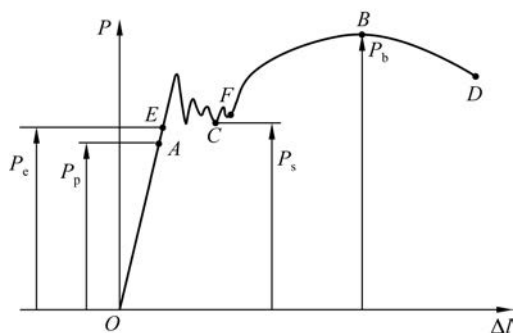


图 1-3 钢材试件在单向均匀静力拉伸时的荷载—位移曲线

由图 1-3 可见,钢材的拉伸性能大致可分为以下四个阶段。

1. 弹性阶段(OE 段)

OE 段为钢材拉伸变形的弹性阶段。此时荷载增加,伸长变形量相应增加;当荷载降为零时,变形也恢复为零,伸长量与荷载大小呈线性关系。其中 OA 段的伸长量与荷载严格成正比,完全符合胡克定律。弹性模量 E 为常数,通常取 $E=2.06 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ 。A 点对应的荷载称为比例极限荷载 P_p ,相应应力为比例极限应力 σ_p 。E 点对应的荷载称为弹性极限荷载 P_e ,相应应力为弹性极限应力 σ_e 。由于 σ_e 略大于 σ_p ,两者非常接近,且试验中弹性极限不易准确测得,通常不做严格区分。

2. 屈服阶段(ECF 段)

当荷载超过弹性极限后,钢材内部组织发生变化,铁素体晶粒间产生滑移。此时荷载与伸长量不再成正比,变形由弹性变形和塑性变形组成,其中塑性变形在卸载后不会消失,形成残余变形。

在该阶段,钢材的变形快速增加,荷载—位移曲线呈锯齿状,甚至在荷载不增加时,变形仍继续发展。ECF 段即为屈服阶段。曲线下限点 C 对应的荷载称为屈服荷载 P_s ,相应应力为屈服应力(或屈服强度) σ_s 。屈服阶段从 E 点开始至曲线再次上升的 F 点,其应变幅度称为流幅。流幅越大,表明钢材的塑性越好。屈服荷载反映钢材的强度,流幅反映钢材的塑性,两者均为重要力学性能指标。

3. 强化阶段(FB 段)

屈服阶段后,钢材晶粒重新排列,抵抗外力的能力增强,荷载—位移曲线逐渐上升,直至达到顶点 B。该阶段称为强化阶段。顶点 B 对应的荷载称为极限荷载 P_b ,相应应力为抗拉强度 σ_b 。

4. 颈缩阶段(BD 段)

当荷载达到极限荷载时,钢材局部截面出现横向收缩,截面积明显减小,塑性变形迅速增加,钢材发生颈缩。该阶段称为颈缩阶段。颈缩后,荷载逐渐降低,但变形继续发展,直至 D 点发生断裂。

1.1.2 钢材的塑性

钢材的塑性是指钢材在破坏前产生塑性变形的能力。衡量钢材塑性好坏的主要指标是伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 。



伸长率 δ 是指钢材试件在外力(拉力)作用下断裂时,试件(见图 1-4)拉断后的标距长度与原始标距长度之比的百分数。伸长率按式(1-1)计算。

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\% \quad (1-1)$$

式中, δ 为伸长率(%); l_0 为试件的原始标距长度(mm); l_1 为试件拉断后的标距长度(mm)。

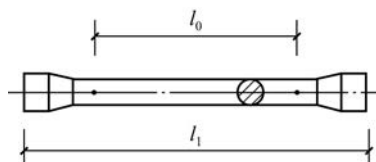


图 1-4 伸长率试验的试件

断面收缩率 ψ 指试件在拉断后,颈缩区的断面面积最小值与原始断面面积之比的百分数。它反映钢材在颈缩区应力状态下所能产生的最大塑性变形,是衡量钢材塑性变形能力的一个较为真实和稳定的力学指标。断面收缩率按式(1-2)计算。

$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中, ψ 为断面收缩率(%); A_0 为原始断面面积(mm^2); A_1 为试件拉断后颈缩区的最小断面面积(mm^2)。

伸长率由钢材沿长度方向的均匀变形和颈缩区的集中变形共同决定,因此不能完全代表钢材所能达到的最大塑性变形能力。此外,在测量试件拉断后的断面面积时容易产生较大误差,因此钢材塑性指标中通常采用伸长率作为主要依据。

具有良好塑性的钢材,能够在一定程度上消除因材质缺陷等不利因素造成的应力集中,改善受力状态,避免因局部损坏而扩展至整个构件,尤其在动荷载作用下,这种特性对结构安全尤为重要。

1.1.3 钢材的冷弯性能

钢材的冷弯性能是衡量钢材在常温下经弯曲加工产生塑性变形时,抵抗裂纹产生能力的重要指标。其检测方法为冷弯试验(见图 1-5)。

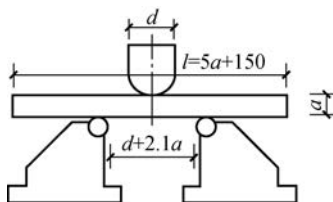


图 1-5 冷弯试验

冷弯试验时,根据钢材牌号和板厚,按照国家相关标准规定的弯心直径(d),在材料试验机上将试件弯曲 180° 。若试件内表面、外表面和侧面均未出现裂纹和分层,则判定该钢材质量合格。

冷弯试验不仅可检验钢材承受规定塑性变形的能力,还能暴露其内部冶金缺陷,如非金属

属夹杂、裂纹、分层和偏析等。因此,冷弯性能既是衡量钢材塑性变形能力的指标,也是反映冶金质量的综合指标。

在钢结构制作和安装过程中,常常需要进行冷加工,特别是在焊接结构中,焊后变形的调直和调平均要求钢材具有良好的冷弯性能。凡用于焊接承重结构及重要的非焊接承重结构的钢材,应符合冷弯试验合格的要求。

1.1.4 钢材的冲击韧性

钢材的冲击韧性又称缺口韧性,是衡量钢材在冲击荷载作用下抵抗脆性断裂能力的重要力学指标。通常在冲击试验机上对标准试件进行冲击韧性试验。

常用的标准试件缺口形状有夏比 V 型缺口(以下简称 V 型缺口)和梅氏 U 型缺口(以下简称 U 型缺口)两种。V 型缺口试件的冲击韧性用试件断裂时所吸收的冲击功 A_k 表示。由于 V 型缺口试件对冲击更为敏感,能够更真实地反映钢材的韧性,我国规定钢材的冲击韧性以 V 型缺口试件的冲击功为准。U 型缺口试件的冲击韧性用试件在冲击荷载下断裂所吸收的冲击功与其横断面积 A_n 之比(单位为 J/mm^2)表示,即

$$\alpha_k = \frac{A_k}{A_n} \quad (1-3)$$

冲击韧性试验示意如图 1-6 所示。

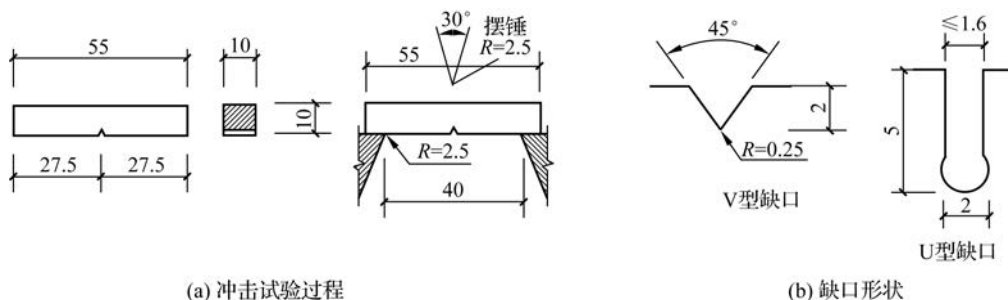


图 1-6 冲击韧性试验示意

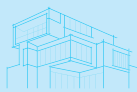
钢材的冲击韧性与钢材质量、缺口形状、加载速度、加载时间和温度等因素有关,其中温度的影响最大。试验表明,钢材的冲击韧性随温度降低而下降,但不同牌号和等级钢材的下降规律存在明显差异。因此,在寒冷地区承受动荷载的重要承重结构中,应根据工作温度和所用钢材的牌号,提出相应的冲击韧性指标要求,以避免钢材发生脆性破坏。

职业技能

低碳钢的拉伸试验

1. 试验目的

- (1) 验证胡克定律,测定低碳钢的弹性模量 E 。
- (2) 测定低碳钢的屈服强度 σ_s 、抗拉强度 σ_b 、伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 。
- (3) 观察低碳钢拉伸过程中各阶段的现象,绘制应力—应变曲线。



2. 试验设备

液压式万能材料试验机、球铰式引伸计、游标卡尺。

3. 试件

试件为圆形截面,直径 $d_0 = 10 \text{ mm}$ 。试件中段等截面部分作为标距段,其长度 $l_0 = 10d_0 = 100 \text{ mm}$,称为原始标距。两端较粗部分为头部,用于装夹承受拉力。如图 1-7 所示。

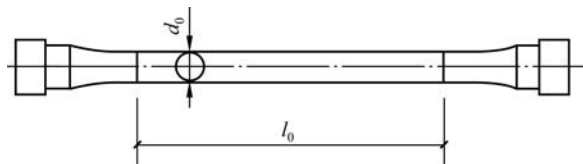


图 1-7 试件

4. 试验原理

低碳钢属塑性材料,其拉伸过程中 $P-\Delta l$ 曲线如图 1-8 所示。拉伸过程大致可分为四个阶段:弹性阶段、屈服阶段、强化阶段和局部变形阶段。

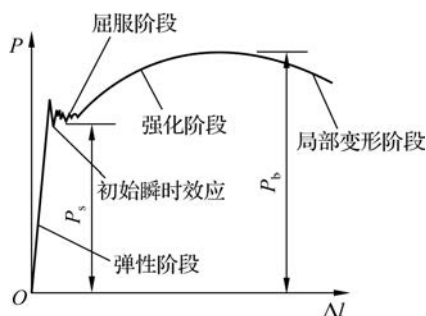


图 1-8 $P-\Delta l$ 曲线

(1)弹性模量 E 的测定。在比例极限内,材料的应力与应变满足胡克定律。弹性模量 E 的计算公式为

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{Pl_0}{\Delta l \cdot A_0} \quad (1-4)$$

式中, P 为拉力(N); A_0 为试件的横截面积(mm^2); l_0 为标距长度(mm); Δl 为相应的伸长量(mm)。

在比例极限范围内,通过逐级增加载荷 P_n ,并测量试件的伸长量 Δl ,即可求得弹性模量 E 。为验证胡克定律的适用性并提高测定结果的精确度,通常采用“增量法”进行试验。其具体做法为:将载荷分成若干相等的增量 ΔP ,逐级加载。测定弹性模量的最高载荷 P_n 一般为屈服载荷 P_s 的 70%~80%。例如,当试件为直径 10 mm 的低碳钢时, P_n 不应超过 15 kN。

试验过程中,从 P_0 到 P_n 逐级加载,每级载荷增量为 ΔP 。对于每一级载荷 $P_i (i=1,2,\dots,n)$,记录其对应的伸长量 Δl_i 。相邻两级伸长量之差即为变形增量 $\delta(\Delta l)_i$ 。

$$\delta(\Delta l)_i = \Delta l_{i+1} - \Delta l_i = \frac{\Delta C_i}{K}$$

式中, ΔC_i 为引伸计读数差; K 为引伸计放大倍数。

在逐级加载时,若各级的 $\delta(\Delta l)_i$ 近似相等,则说明应变增量与载荷呈线性关系,符合胡克定律。

完成全部加载后,可得到载荷 P_i 与伸长量 Δl_i 的一组试验数据。根据弹性模量平均法,可对每一个变形增量 $\delta(\Delta l)_i$ 计算相应的单项弹性模量 E_i 。

$$E_i = \frac{\Delta P l_0}{\delta(\Delta l)_i} \cdot \frac{1}{A_0} \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

取各 E_i 的算术平均值,即可得到材料的弹性模量 E 。

$$E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i$$

在增量法试验中,还应分别检查引伸计的安装与读数是否正确。若伸长量与载荷不呈一定规律变化,说明试验可能存在误差,应重新进行试验。

(2) 屈服强度 σ_s 与抗拉强度 σ_b 的测定。当试件处于弹性阶段后,继续加载即进入屈服阶段。此时,试验机示功盘的主动针停止前进并出现回摆,载荷值在波动中变化。载荷首次下降时的最低点称为初始屈服点,一般不作为强度指标。随后,当主动针第二次回摆后再次上升时,其最低点所对应的载荷称为屈服载荷 P_s 。

根据定义,屈服强度计算式为

$$\sigma_s = \frac{P_s}{A_0} \quad (1-5)$$

式中, A_0 为试件的初始横截面积(mm^2)。

屈服阶段结束后,试件进入强化阶段。此阶段材料发生明显的塑性变形,内部晶体滑移与位错增殖,使材料的抗变形能力不断增强。当载荷达到最大值 P_b 时,试件某局部截面出现颈缩现象,表明已进入局部变形阶段。此时,主动针迅速倒退,试件被拉断,主动针停止不动。该时刻的载荷即为极限载荷 P_b 。

根据定义,抗拉强度计算式为

$$\sigma_b = \frac{P_b}{A_0} \quad (1-6)$$

式中, A_0 为试件的初始横截面积(mm^2)。

(3) 伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 的测定。为便于测量断裂后的标距 l_1 ,应在试验前在试件表面刻画标距线。标距线应等距布置,并与试件轴线垂直。例如,每相距 10 mm 刻一段,如图 1-9(a)所示。试件拉断后,将两断口轻轻对接。由于低碳钢试件断口处的伸长不均匀,靠近断口的伸长较大,因此测得的 l_1 数值与断口位置有关。为保证测量结果的准确性,标距 l_1 应尽量位于测量范围的中部。通常可用标尺测量 10 格的长度,即为 l_1 ,如图 1-9(b)所示。若断口位置不便于测量,可采用断口移中的方法来确定 l_1 。

断口移中的操作方法如下:在靠近断口的一侧刻线内,向断裂试件中较短一段数出若干格(如 2 格)记为点 a ;然后在断裂试件较长一段中,从断口起同样数 2 格,记为点 c ,则 ac 段的长度为 l_{ac} ,共计 4 格。此时还应再数 $10 - 4 = 6$ 格。再从点 c 向试件较长的一段数 6 格的一半,即 3 格,记为点 d ,则 cd 长度为 l_{cd} ,如图 1-9(c)所示。这样, $l_{ac} + 2l_{cd}$ 所包含的格数为 10 格,此时 $l_1 = l_{ac} + 2l_{cd}$ 。显然,该测量方法可保证断口位于测量段的中部,使 l_1 的测量结果较为准确。

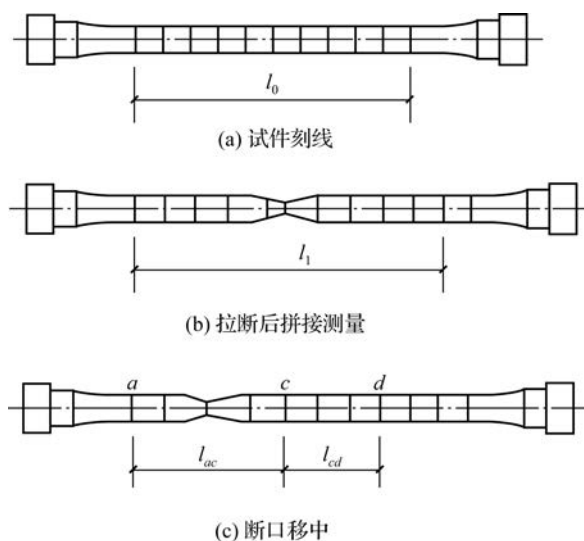
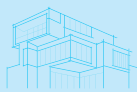


图 1-9 低碳钢试件标距及断口移中

5. 试验步骤

试验必须按步骤进行,依次为试件与试验机准备、安装试件及引伸计、试验(加载、观察、记录)、测量和整理数据。

(1) 试件准备。

①沿试件标距 l_0 的范围内,用划线机每隔 10 mm 刻划标距线。

②在标距范围内分别测量试件两端及中部三个位置的直径。为保证精确度,每一截面在互相垂直的两个方向各测量一次并取平均值;以三截面中最小处的平均值作为计算直径 d_0 ,据此计算试件的初始横截面积 A_0 。

(2) 试验机准备。

①根据试件极限载荷大小选择合适的测力量程,并配置相应摆锤。低碳钢拉伸试验通常选择 0~60 kN 量程。

②调整测力指针,使其对准零点。

③在自动绘图器上安装绘图纸与绘图笔。

(3)安装试件及引伸计。先安装试件,并使其刚好拉紧(如测力盘指示约 0.2 kN),再安装球铰引伸计。引伸计装好后,将其指针调整至刻度零点。

(4)启动试验机。预加载少量载荷(如加至 2 kN),检查试验机工作是否正常以及引伸计上百分表指针是否转动;确认正常后卸载至接近零点。

(5) 进行试验。

①以慢速加载,初载荷取 6 kN,缓慢而均匀地使试件产生变形;注意观察测力指针的转动、自动绘图情况及相应试验现象。

②自初载荷起,每增加 2 kN 记录一次引伸计中百分表读数,并估算前后两次读数差,以判断试验是否正常。

③卸下引伸计。

④继续加载并观察屈服时的载荷。当测力指针倒退时,说明材料发生屈服,读出屈服载荷 P_s 。

⑤过屈服阶段后可适当提高加载速度,注意观察试件颈缩部位;直至试件被拉断,记录极限载荷 P_b ,停机并取下试件。

(6)测量。

①为计算伸长率 δ ,按前述方法测量拉断后试件标距范围内的长度 l_1 。

②为计算断面收缩率 ψ ,将断裂试件两端尽量对接,用游标卡尺测量断口颈缩处最小直径 d_1 。为保证精确度,在互相垂直的两个方向各测量一次并取平均值,计算断口处最小截面积 A_1 。

(7)清理仪器设备,结束试验。

(8)整理数据,完成试验报告。

任务 1.2 各种因素对钢材力学性能的影响



任务说明

学习任务	任务 1.2 各种因素对钢材力学性能的影响
学时	2
学习目标	1. 知识目标 (1)掌握化学成分对钢材性能的影响; (2)掌握生产工艺对钢材性能的影响; (3)掌握钢材硬化对钢材性能的影响; (4)掌握温度对钢材性能的影响; (5)掌握截面变化对钢材性能的影响。 2. 能力目标 (1)能区分哪些化学成分对钢材性能有利,哪些不利; (2)能在团队协作条件下分析钢材性能变化; (3)能够采取有效措施防止钢材发生疲劳破坏。 3. 素质目标 (1)能够形成严谨、认真的工作态度; (2)能够树立安全施工与规范操作意识; (3)能够养成团队协作与互助学习精神
学习资源	教材、多媒体课件、教学动画、任务单等
学习要求	1. 课前认真预习,充分利用学习资源; 2. 发挥团队合作精神,按要求完成学习任务; 3. 注重相互学习与经验交流,不断提升学习效果与实践能力



核心知识

1.2.1 化学成分

钢材的化学成分及其含量对钢材性能,特别是力学性能有着重要影响。钢材的基本元素为铁(Fe),普通碳素钢中铁元素含量约为99%。钢材中含有一定的合金元素和杂质元素,如碳(C)、硅(Si)、锰(Mn)等,以及有害元素硫(S)、磷(P)、氧(O)、氮(N)等。这些元素的总含量虽仅约1%,但对钢材力学性能的影响十分显著。

1. 碳(C)

碳是钢材中除铁以外的主要元素。随着碳含量的增加,钢材的强度和硬度提高,但塑性和韧性(特别是低温冲击韧性)明显降低,同时耐蚀性、疲劳性能和冷弯性能下降,可焊性变差,低温脆性断裂的可能性增大。一般建筑钢材要求碳含量不超过0.22%,焊接钢结构用钢通常要求碳含量不超过0.20%。

2. 硅(Si)

硅通常作为脱氧剂加入普通碳素钢中。适量的硅可提高钢材强度,而对塑性、冲击韧性、冷弯性能及可焊性的影响较小。但硅含量过高会降低钢材的塑性、冲击韧性、耐蚀性和可焊性。镇静钢(killed steel)的硅含量一般为0.10%~0.30%。

3. 锰(Mn)

锰是一种常用的脱氧和脱硫元素。适量的锰可有效提高钢材强度,减弱硫对钢材热脆性的影响,改善钢材的热加工性能和冷弯性能,同时对塑性和冲击韧性的影响较小。但锰含量过高会使钢材变脆、变硬,并降低耐蚀性和可焊性。普通碳素钢中锰的含量一般为0.30%~0.80%。

4. 硫(S)

硫属于有害元素。硫含量过高会导致钢材产生热脆(hot shortness),显著降低钢材的塑性、冲击韧性、疲劳性能和耐蚀性等。一般建筑钢材要求硫含量不超过0.055%,焊接钢结构用钢通常要求含硫量不超过0.050%。

5. 磷(P)

磷可在一定程度上提高钢材的强度和耐蚀性,但会显著降低塑性、冲击韧性、冷弯性能和可焊性,尤其在低温条件下易引起冷脆(cold shortness)。因此,磷含量需严格控制。一般建筑钢材要求磷含量不超过0.050%,焊接钢结构用钢通常要求磷含量不超过0.045%。

6. 氧(O)和氮(N)

氧的作用与硫类似,易使钢材产生热脆,一般建筑钢材要求氧含量不超过0.05%。氮的作用与磷相似,易导致钢材产生冷脆,一般建筑钢材要求氮含量不超过0.008%。

为改善钢材的力学性能,可在钢中适量加入铬(Cr)、镍(Ni)、铜(Cu)、钒(V)、钛(Ti)、铌(Nb)等合金元素,形成合金钢。钢结构工程中常用的合金钢中合金元素含量较低,属于普通低合金钢。

1.2.2 生产工艺

1. 冶炼

钢材按冶炼方法主要分为三类:电炉钢、平炉钢和氧气转炉钢。电炉钢质量较好,但生



产成本较高,目前在普通建筑钢材中应用较少;平炉钢和氧气转炉钢质量相近,但由于氧气转炉钢具有投资较少、建设周期短、生产效率高等优点,已成为钢铁生产中广泛采用的冶炼方法。

2. 浇铸

根据脱氧程度的不同,钢材可分为沸腾钢(rimming steel)、镇静钢(killed steel)和特殊镇静钢(special killed steel)。

(1)沸腾钢。沸腾钢采用弱脱氧方式进行脱氧,在浇注过程中,钢液中的氧与碳反应生成一氧化碳气体逸出,产生明显的“沸腾”现象,故称为沸腾钢。沸腾钢的时效稳定性较差,塑性和可焊性较低,易发生时效硬化和脆化现象。但其生产成本较低,常用于制造板材、管材和线材。

(2)镇静钢。在钢液中加入硅、锰等元素进行彻底脱氧,钢液在凝固过程中较为平稳,故称为镇静钢。镇静钢的综合力学性能较好,但生产成本较高,常用于重要工程结构。

(3)特殊镇静钢。特殊镇静钢是在硅脱氧的基础上,再加入铝进行补充脱氧。该类钢材具有较高的低温冲击韧性和较好的质量稳定性,适用于特别重要或低温条件下工作的结构工程。

3. 轧制

钢材的轧制是在高温($1\ 200\sim 1\ 300\ ^\circ\text{C}$)和高压作用下,将钢锭或钢坯加工成钢板或型钢的过程。轧制不仅改变了钢材的形状和尺寸,还改善了钢的内部组织,从而影响其力学性能。轧制可细化钢材的晶粒,减少或消除内部气孔、裂纹和疏松等缺陷,使金属组织更加致密。试验表明,轧制次数增加,有利于晶粒细化和缺陷越少。因此,与厚型钢相比,薄型钢和薄钢板通常具有较高的强度以及较好的塑性和韧性。

1.2.3 钢材硬化

钢材的硬化主要包括时效硬化、应变硬化和应变时效硬化。

1. 时效硬化

钢材在一定条件下随时间推移,其强度提高而塑性逐渐降低的现象称为时效硬化。其主要原因是钢材中含有一定数量的间隙原子(如碳、氮等),这些原子在使用或存放过程中由固溶状态逐渐析出,形成细小的碳化物或氮化物弥散相,并在晶格缺陷或位错附近聚集,从而阻碍位错运动,使钢材的塑性降低、强度提高,力学性能随时间发生变化。

2. 应变硬化

钢材经冷加工(如冷拉、冷弯等)产生塑性变形后,若继续施加外力,其屈服强度将提高,而塑性和韧性明显降低,这种现象称为应变硬化。应变硬化会使钢材发生脆性破坏的可能性增加,对钢结构的安全性不利,因此在工程应用中应加以控制。

3. 应变时效硬化

钢材在发生应变硬化之后,其时效硬化过程明显加快,在较短时间内即出现显著的时效硬化现象,这种现象称为应变时效硬化。

1.2.4 温度

钢材的力学性能受温度影响较大。当温度不超过 $200\ ^\circ\text{C}$ 时,钢材的力学性能变化不大。



当温度升至约 $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,钢材的抗拉强度略有提高,而塑性和韧性均有所下降,此时若对钢材进行加工,容易产生裂纹。由于钢材表面氧化膜呈蓝色,这种现象称为蓝脆现象。

当温度超过 $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 后,钢材的屈服强度和抗拉强度均明显下降;当温度升至 $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,钢材的强度几乎降为零。

当温度由常温逐渐降低至某一数值时,钢材的冲击韧性会突然急剧下降,断口呈现脆性断裂特征,这种现象称为冷脆现象。钢材由韧性状态向脆性状态转变的温度称为冷脆转变温度。冷脆转变温度与钢材的韧性密切相关,冷脆转变温度越低的钢材,其低温韧性越好。

1.2.5 截面变化

当钢结构构件的截面发生变化,出现几何不连续现象时(如构件上存在孔洞、槽口、凹角、裂纹、厚度变化、形状变化或内部缺陷等),构件在受力后,截面变化处附近会产生局部应力显著增大的现象,即应力集中现象。应力集中越严重,钢材的塑性表现越差。

因此,在钢结构设计中,应尽量避免构件截面发生突变,尤其是在低温地区应更加严格控制,以防止构件发生脆性破坏。



职业技能

钢材的疲劳破坏及其防治措施

钢材在连续反复荷载作用下,即使应力远低于极限强度,甚至低于屈服强度,也可能发生破坏,这种破坏称为疲劳破坏。钢材发生疲劳破坏前通常无明显塑性变形,属于一种突然发生的断裂。其断口表面一般呈现两个截然不同的区域:一部分为光滑区,另一部分为呈晶粒状的粗糙区。

疲劳破坏是在连续反复荷载作用下产生的一种脆性破坏,其后果严重,应尽量避免。对于荷载变化不大或不频繁反复作用的钢结构,一般不易发生疲劳破坏,因此在计算中通常不必考虑其影响;而对于长期承受连续反复荷载的钢结构,在设计时必须考虑疲劳破坏的影响。

由于冶炼、轧制及冷热加工等过程,钢材构件表面或内部不可避免地存在缺陷(如微小裂纹、不均匀杂质等)。在荷载作用下,这些缺陷部位易产生应力集中现象。大量工程事故和试验研究表明,疲劳裂纹通常首先出现在应力集中部位,且应力集中系数越大(应力集中程度越高),钢结构构件的抗疲劳性能越差。同时,温度越低,钢材(尤其是焊接结构)越容易发生脆性断裂。

钢材的疲劳破坏是一个随时间逐渐发展的过程,其过程一般可分为三个阶段:裂纹形成阶段、裂纹缓慢扩展阶段(此阶段断口较为光滑)、裂纹迅速扩展直至断裂阶段。由于钢结构不可避免存在微小缺陷,这些缺陷本身具有类似微裂纹的性质,因此在实际工程中,钢材的疲劳破坏往往主要表现为后两个阶段。

钢材在发生疲劳破坏时所能承受的最大应力称为疲劳强度。影响疲劳强度的因素较多,如应力种类(拉应力、压应力、剪应力及复合应力等)、应力循环形式、应力循环次数、应力集中程度以及残余应力等。有关疲劳强度的具体计算方法可参阅相关专业书籍。

工程中提高钢结构抗疲劳性能的常用措施如下。

(1)在低温地区的焊接结构中,应合理选择钢材的牌号、质量等级和厚度;如需对钢材进

行冷加工,应将冷加工硬化部分削除。

(2)严格控制焊接质量,合理布置焊缝,尽量避免焊缝缺陷。

(3)在结构设计中尽量避免产生应力集中现象。

(4)保证结构受力均匀,减少荷载冲击,降低应力作用水平。

任务 1.3 钢材制品的种类、规格及选用



任务说明

学习任务	任务 1.3 钢材制品的种类、规格及选用
学时	2
学习目标	1. 知识目标 (1)掌握钢材制品的种类及规格; (2)掌握钢材制品的选用原则。 2. 能力目标 能够在团队协作条件下进行钢材制品的合理选用。 3. 素质目标 (1)能够形成严谨、认真的工作态度; (2)能够树立安全施工与规范操作意识; (3)能够养成团队协作与互助学习精神
学习资源	教材、多媒体课件、教学动画、教学录像、任务单等
学习要求	1. 课前认真预习,充分利用学习资源; 2. 发挥团队合作精神,按要求完成学习任务; 3. 注重相互学习与经验交流,不断提升学习效果与实践能力



核心知识

建筑钢材制品是建筑工程中使用的各类钢材制品的总称,包括钢板、钢带、型钢(如工字钢、角钢、槽钢、T 型钢、H 型钢等)。其主要特点如下:组织均匀、致密,强度(抗拉、抗压)和硬度较高,加工性能和可焊性较好,但易发生腐蚀,维护费用较高。

1.3.1 钢板与钢带的种类、规格及选用

根据轧制方法,建筑钢结构中使用的钢板(钢带)主要有冷轧板和热轧板两种,其中热轧钢板是建筑钢结构中应用较广泛的一类钢材。

钢板与钢带的主要区别体现在成品形状上。钢板是指平板状、矩形的板材,可直接轧制,也可由宽钢带剪切而成。一般来说,钢板是指宽厚比和表面积相对较大的扁平钢材。钢带通常为长卷状,是成品钢板的原材料或供应形式之一。

根据钢板厚度,钢板大致分为薄钢板(厚度 ≤ 4 mm)、中板(厚度 $> 4 \sim 20$ mm)、厚板(厚



度 $>20\sim60\text{ mm}$)和特厚板(厚度 $>60\text{ mm}$)四类。在实际工作中,中板、厚板和特厚板统称为中厚钢板。成张钢板的规格通常以厚度 $\times$ 宽度 $\times$ 长度(mm)表示。

钢带根据宽度分为宽钢带(宽度 $\geq 600\text{ mm}$)和窄钢带(宽度 $<600\text{ mm}$)。钢带的规格通常以厚度 $\times$ 宽度(mm)表示。

1.3.2 型钢的分类、规格及选用

1. 分类

(1)按材质分类。型钢按材质可分为普通型钢和优质型钢。普通型钢由碳素结构钢和低合金高强度结构钢制成,主要用于建筑结构和工程结构。优质型钢由优质钢制成,也称特殊型钢。其原料包括优质碳素结构钢、合金结构钢、易切削结构钢、弹簧钢、滚动轴承钢、碳素工具钢、合金工具钢、高速工具钢、不锈钢耐酸钢、耐热钢等。优质型钢主要用于各种机械结构、工具以及具有特殊性能要求的结构。

(2)按成型方法分类。型钢按成型方法可分为热轧(锻)型钢、冷弯型钢、冷拉型钢、挤压型钢和焊接型钢。其中,热轧型钢采用热轧方法生产,具有生产规模大、效率高、能耗低、成本低等优点,是型钢生产的主要方法。焊接型钢由矫直后的钢板或钢带剪裁、组合并焊接而成,不仅节约金属,还可生产超大尺寸的型材。目前生产工字钢的最大尺寸已达到 $2\,000\text{ mm}\times 508\text{ mm}\times 76\text{ mm}$ 。

(3)按截面形状分类。型钢按截面形状可分简单截面型钢(棒钢)、复杂截面型钢(型钢)、异型钢、周期截面型钢。

①简单截面型钢(棒钢):圆钢、方钢、扁钢、六角钢、等边角钢、不等边角钢等,其截面无明显的凸凹部分,成型较为简单。在该类型钢中,优质钢和具有特殊性能的钢材占有相当比例。

②复杂截面型钢(型钢):工字钢、槽钢和异型钢,其截面具有明显的凸凹分枝部分,成型工艺较为复杂,通常所指的“型钢”即此类。

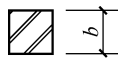
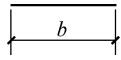
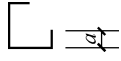
③异型钢:专门用途的、截面形状较为复杂的型钢,如窗框钢、汽车车轮辋钢、履带板型钢等。

④周期截面型钢:截面形状沿长度方向呈周期性变化的型钢,如周期型锥钢、纹杆钢等。常用型钢的标记方法见表 1-1。

表 1-1 常用型钢的标记方法

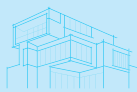
序号	名称	截面	标注	说明
1	等边角钢		$\angle b\times t$	b 为肢宽, t 为肢厚
2	不等边角钢		$\angle B\times b\times t$	B 为长肢宽, b 为短肢宽, t 为肢厚
3	工字钢		I^N QI^N	轻型工字钢加注 Q; N 表示工字钢型号
4	槽钢		C^N QC^N	轻型槽钢加注 Q; N 表示槽钢型号

续表

序号	名称	截面	标注	说明
5	方钢		 b	b 为边长
6	扁钢		$\text{—} b \times t$	b 为宽度, t 为厚度
7	钢板		$\frac{b \times t}{l}$	b 为宽度, t 为厚度, l 为板长
8	圆钢		ϕd	按直径表示规格
9	钢管		$DN \times \times$ $d \times t$	DN 表示内径; d 为外径, t 为壁厚
10	薄壁方钢管		B  $b \times t$	薄壁型钢加注 B; b 为边长, t 为壁厚
11	薄壁等肢角钢		B  $b \times t$	
12	薄壁等肢卷边角钢		B  $b \times a \times t$	薄壁型钢加注 B; b 为边长, a 为卷边宽度, t 为壁厚
13	薄壁槽钢		B  $h \times b \times t$	薄壁型钢加注 B; h 为腹板高度, b 为翼缘宽度, t 为壁厚
14	薄壁卷边槽钢		B  $h \times b \times a \times t$	薄壁型钢加注 B;
15	薄壁卷边 Z 型钢		B  $h \times b \times a \times t$	h 为腹板高度, b 为翼缘宽度, a 为卷边宽度, t 为壁厚
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		 QU $\times \times$	规格型号由产品标准规定
19	轻轨及钢轨		 $\times \times \text{kg/m}$ 钢轨	

2. 常用型钢的规格及选用

(1) 角钢的规格。常用热轧角钢有等边角钢和不等边角钢两种,其长度一般为 3~19 m。热轧等边角钢的型号用符号“L”和肢宽×肢厚(mm)表示,如 L100×10 表示肢宽为 100 mm、肢厚为 10 mm 的等边角钢,其截面特性见附表 1-4。



热轧不等边角钢的型号用符号“L”和长肢宽 $\times$ 短肢宽 $\times$ 肢厚(mm)表示,如L100 $\times$ 80 $\times$ 8表示长肢宽为100 mm、短肢宽为80 mm、肢厚为8 mm的不等边角钢,其截面特性见附表1-5。

(2)工字钢的规格。热轧工字钢由于宽度方向的惯性矩和回转半径远小于高度方向,因此在应用上具有一定的局限性,一般宜用于单向受弯构件。工字钢分为普通工字钢和轻型工字钢,分别用符号“I”和“QI”及号数表示,号数代表截面高度的厘米数。

①I20及I32以上的普通工字钢,同一号数又分为a、b和c类型,其腹板厚度和翼缘宽度均分别递增2 mm。例如,I36a表示截面高度为360 mm、a型的普通工字钢。普通工字钢在选用时,宜优先采用腹板最薄的a型,其线密度较小而截面惯性矩相对较大,具有较好的经济性。

②轻型工字钢的翼缘相较普通工字钢更宽而薄,因此其回转半径较大,在满足强度要求的前提下可节省钢材用量。然而,由于工字钢宽度方向的惯性矩和回转半径均远小于高度方向,使其受力性能具有明显的方向性限制,通常仅适用于单向受弯构件。

③热轧工字钢的截面特性和理论线密度见附表1-1。

(3)槽钢的规格。槽钢分为普通槽钢和轻型槽钢两种,型号用符号“[”和“Q[”及号数表示,号数代表截面高度的厘米数。[14和[25号以上的普通槽钢,同一号数又分为a、b和c类型,其腹板厚度和翼缘宽度均分别递增2 mm。例如,[36a表示截面高度为360 mm、腹板厚度为a型的普通槽钢。轻型槽钢的翼缘相较普通槽钢更宽而薄,因此较为经济。热轧槽钢的规格和截面特性见附表1-3。

(4)H型钢的规格。轧制H型钢是国内外高层建筑钢结构中常用的钢材,适用于梁、柱、支撑等构件。轧制H型钢的钢号可为低碳结构钢Q235、低合金钢Q345和Q390,并可指定质量等级。H型钢按截面规格可分为以下系列。

①宽翼缘H型钢(HW):常用作柱及支撑,翼缘较宽,截面宽高比为1:1,回转半径较大,具有良好的受压承载力。截面规格为100 mm $\times$ 100 mm $\sim$ 400 mm $\times$ 400 mm。

②中翼缘H型钢(HM):常用于柱和梁,翼缘宽度较HW略窄,截面宽高比为1:1.3 $\sim$ 1:2。截面规格为150 mm $\times$ 100 mm $\sim$ 600 mm $\times$ 300 mm。

③窄翼缘H型钢(HN):常用于梁,尤其适用于H型钢梁,其翼缘较窄,截面宽高比为1:2 $\sim$ 1:3,具有良好的受弯承载力。截面高度为100 $\sim$ 900 mm。

④桩用H型钢(HP):常用作钢桩,宽高比1:1,截面规格为200 mm $\times$ 200 mm $\sim$ 500 mm $\times$ 500 mm,多数此类H型钢的翼缘厚度与腹板相同。

轧制H型钢的规格及截面特性见附表1-2。

(5)冷弯型钢和压型钢板。建筑中使用的冷弯型钢一般由厚度为1.5 $\sim$ 5 mm的薄钢板或钢带,经冷轧(弯)或模压成型,也称冷弯薄壁型钢,其截面形式如图1-10所示。

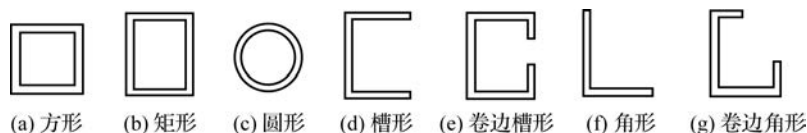


图1-10 冷弯薄壁型钢的截面形式

方钢管结构是近年来在国内发展较快的一种新型钢结构,因其外形简洁、连接方便,在大跨度钢结构中应用较广。

压型钢板是冷弯型钢的另一种形式,是用厚度为 0.4~2 mm 的钢板、镀锌钢板或彩色涂层钢板(表面覆盖彩色涂层)经冷轧(压)成型的各种波形板材。目前,我国已制定多种压型钢板型号,常用波形如图 1-11 所示。

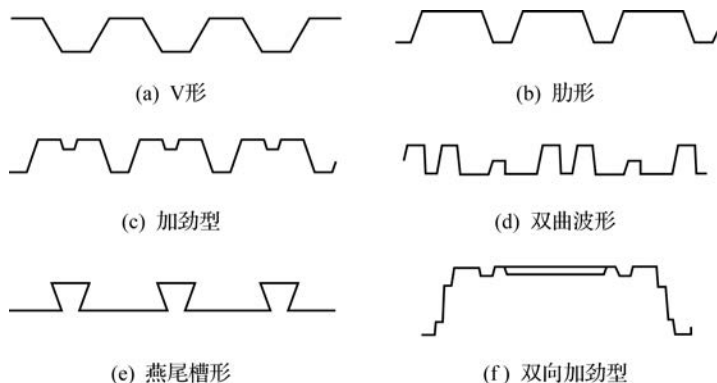


图 1-11 压型钢板常用波形

(6) 钢管。钢管是一种具有中空截面的长条形钢材。与圆钢等实心钢材相比,在相同抗弯、抗扭强度条件下,钢管质量较轻,属于经济截面钢材,因此广泛用于制造结构构件和各种机械零件。钢管按横截面形状分为圆管和异型管。

职业技能

钢材的选用

1. 钢材的选用标准

钢材的选用标准应在保证结构安全可靠、满足使用要求的前提下,尽可能节约用钢,从而降低工程造价。不同使用要求的钢结构对钢材质量的要求不同:一般结构不宜选用优质钢材,而重要结构不宜选用质量较差的钢材。从钢材的力学性能来看,屈服强度、抗拉强度、伸长率、冷弯性能、冲击韧性等指标,均为衡量钢材质量的重要依据。在进行钢结构设计时,应防止重要结构发生脆性破坏,应综合考虑结构的重要性、荷载特征、结构形式、应力状态、连接方式、钢材厚度以及工作环境等因素,合理选用适宜的钢材。

2. 选用钢材时应考虑的结构特点

钢材的选用不仅涉及经济问题,更与结构的安全性和耐久性直接相关。选用钢材时,可结合以下结构特点进行考虑。

(1) 结构的类型和重要性。根据使用条件和所处部位,结构可分为重要结构、一般结构和次要结构。例如,民用大跨度屋架、重级工作制吊车梁等属于重要结构,普通厂房屋架和柱属于一般结构,梯子、栏杆、平台等属于次要结构。应依据结构的类型和重要性,合理选择钢材牌号。

(2) 荷载的性质。按所受荷载的性质,结构可分为承受静力荷载和承受动力荷载两类;在承受动力荷载的结构和构件中,又有经常满载与不经常满载之分。因此,荷载性质不同,应选用相应牌号的钢材。例如,重级工作制吊车梁宜选用冲击韧性和抗疲劳性能较好的钢材,如 Q355C 钢;《钢结构设计标准》(GB 50017—2017)中的 Q345C 钢或 Q235C 钢



亦可用于相应场合。一般承受静力荷载的结构或构件,如普通焊接屋架及柱,在常温工作环境下可选用 Q235B 钢或 Q235BF 钢。

(3)连接方法。不同连接方法对钢材的要求不同。焊接钢结构在焊接过程中可能产生焊接应力、焊接变形和焊缝缺陷,在受力性质改变或温度变化条件下,易产生缺口敏感性,从而导致裂纹甚至脆性破坏。因此,焊接钢结构对钢材的化学成分、力学性能和可焊性要求较高。钢材中的碳、硫、磷含量宜低,塑性和韧性指标宜高。对非焊接钢结构,上述要求可适当放宽。

(4)结构所处的环境和工作温度。结构所处环境和工作温度对钢材影响较大。例如,室内与室外温差、腐蚀环境等均会影响钢材性能。钢材的塑性和冲击韧性随温度降低而下降;当工作温度低于其冷脆转变温度时,钢材处于冷脆状态,易发生突然破坏。因此,在低温环境下工作的焊接结构,应谨慎选择钢材牌号。

(5)构件的受力性质。构件的受力状态可分为受拉、受弯和受压等。由于构造原因,构件截面上产生应力集中时,集中部位往往处在承受单向或双向应力状态下,易发生脆性破坏,此类破坏多出现在受拉区,危险性较大。因此,受拉构件对钢材质量要求高于受弯构件。同时,低温脆性破坏多发生在局部缺陷处;对同一缺陷,材料对拉应力的敏感性大于对压应力的敏感性,因此经常承受拉力的构件宜选用质量较好的钢材。

(6)结构形式和钢材厚度。格构式结构在缀件与肢件连接处可能出现应力集中,同时该处需进行焊接,因此对钢材质量要求高于实腹式构件。对重要的受拉焊接构件和受弯焊接构件,由于可能存在焊接残余拉应力,易形成多向拉应力场。当构件厚度较大时,由于轧制次数相对较少,易存在气孔、夹渣等缺陷,因此厚钢板制作的受拉、受弯焊接构件对钢材质量要求更高。

任务 1.4 钢材的验收



任务说明

学习任务	任务 1.4 钢材的验收
学时	2
学习目标	1. 知识目标 (1)掌握钢材验收的各项规范和标准; (2)熟练掌握钢材的验收要求。 2. 能力目标 - 能够正确进行钢材品种检测。 3. 素质目标 (1)能够形成严谨、认真的工作态度; (2)能够树立安全施工与规范操作意识; (3)能够养成团队协作与互助学习精神
学习资源	教材、多媒体课件、相关规范标准、教学动画、任务单等
学习要求	1. 课前认真预习,充分利用学习资源; 2. 发挥团队合作精神,按要求完成学习任务; 3. 注重相互学习与经验交流,不断提升学习效果与实践能力



核心知识

1.4.1 一般规定

(1) 钢结构工程所用的材料应符合设计文件和国家现行有关标准的规定,应具有质量合格证明文件,并应经进场检验合格后使用。

(2) 施工单位应制定材料的管理制度,并应做到订货、存放、使用规范化。

1.4.2 钢材验收与复验的标准

(1) 钢材订货时,其品种、规格、性能等均应符合设计文件和国家现行有关钢材标准的规定,常用钢材产品标准宜按表 1-2 采用。

表 1-2 常用钢材产品标准

标准编号	标准名称
GB/T 699	《优质碳素结构钢》
GB/T 700	《碳素结构钢》
GB/T 1591	《低合金高强度结构钢》
GB/T 3077	《合金结构钢》
GB/T 4171	《耐候结构钢》
GB/T 5313	《厚度方向性能钢板》
GB/T 19879	《建筑结构用钢板》
GB/T 247	《钢板和钢带包装、标志及质量证明书的一般规定》
GB/T 708	《冷轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差》
GB/T 709	《热轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差》
GB 912	《碳素结构钢和低合金结构钢热轧薄钢板和钢带》
GB/T 3274	《碳素结构钢和低合金结构钢热轧厚钢板和钢带》
GB/T 14977	《热轧钢板表面质量的一般要求》
GB/T 17505	《钢及钢产品交货一般技术要求》
GB/T 2101	《型钢验收、包装、标志及质量证明书的一般规定》
GB/T 11263	《热轧 H 型钢和剖分 T 型钢》
GB/T 706	《热轧型钢》
GB/T 8162	《结构用无缝钢管》
GB/T 13793	《直缝电焊钢管》
GB/T 17395	《无缝钢管尺寸、外形、重量及允许偏差》
GB/T 6728	《结构用冷弯空心型钢尺寸、外形、重量及允许偏差》



续表

标准编号	标准名称
GB/T 12755	《建筑用压型钢板》
GB 8918	《重要用途钢丝绳》
YB 3301	《焊接 H 型钢》
YB/T 152	《高强度低松弛预应力热镀锌钢绞线》
YB/T 5004	《镀锌钢绞线》
GB/T 5224	《预应力混凝土用钢绞线》
GB/T 17101	《桥梁缆索用热镀锌钢丝》
GB/T 20934	《钢拉杆》

(2) 钢材订货合同应对材料牌号、规格尺寸、性能指标、检验要求、尺寸偏差等有明确的约定。定尺钢材应留有复验取样的余量；钢材的交货状态，宜按设计文件对钢材的性能要求与供货厂家商定。

(3) 钢材的进场验收，除应符合《钢结构工程施工规范》(GB 50755—2012)的规定外，尚应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》(GB 50205—2020)的有关规定。对属于下列情况之一的钢材，应进行抽样复验：国外进口钢材；钢材混批；板厚等于或大于 40 mm，且设计有 Z 向性能要求的厚板；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；设计有复验要求的钢材；对质量有疑义的钢材。

(4) 钢材复验内容应包括力学性能试验和化学成分分析，其取样、制样及试验方法可按表 1-3 中所列的标准执行。



标准规范：
《钢结构工程施工
质量验收标准》

表 1-3 钢材试验标准

标准编号	标准名称
GB/T 2975	《钢及钢产品 力学性能试验取样位置及试样制备》
GB/T 228.1	《金属材料 拉伸试验 第 1 部分：室温试验方法》
GB/T 229	《金属材料 夏比摆锤冲击试验方法》
GB/T 232	《金属材料 弯曲试验方法》
GB/T 20066	《钢和铁 化学成分测定用试样的取样和制样方法》
GB/T 222	《钢的成品化学成分允许偏差》
GB/T 223	《钢铁及合金化学分析方法》

(5) 当设计文件无特殊要求时，钢结构工程中常用牌号钢材的抽样复验检验批宜按下列规定执行。

① 牌号为 Q235、Q345 且板厚小于 40 mm 的钢材，应按同一生产厂家、同一牌号、同一质量等级的钢材组成检验批，每批重量不应大于 150 t；同一生产厂家、同一牌号的钢材供货重量超过 600 t 且全部复验合格时，每批的组批重量可扩大至 400 t。



②牌号为 Q235、Q345 且板厚大于或等于 40 mm 的钢材,应按同一生产厂家、同一牌号、同一质量等级的钢材组成检验批,每批重量不应大于 60 t;同一生产厂家、同一牌号的钢材供货重量超过 600 t 且全部复验合格时,每批的组批重量可扩大至 400 t。

③牌号为 Q390 的钢材,应按同一生产厂家、同一质量等级的钢材组成检验批,每批重量不应大于 60 t;同一生产厂家的钢材供货重量超过 600 t 且全部复验合格时,每批的组批重量可扩大至 300 t。

④牌号为 Q235GJ、Q345GJ、Q390GJ 的钢板,应按同一生产厂家、同一牌号、同一质量等级的钢材组成检验批,每批重量不应大于 60 t;同一生产厂家、同一牌号的钢材供货重量超过 600 t 且全部复验合格时,每批的组批重量可扩大至 300 t。

⑤牌号为 Q420、Q460、Q420GJ、Q460GJ 的钢材,每个检验批应由同一牌号、同一质量等级、同一炉号、同一厚度、同一交货状态的钢材组成,每批重量不应大于 60 t。

⑥有厚度方向要求的钢板,宜附加逐张超声波无损探伤复验。

(6)进口钢材复验的取样、制样及试验方法应按设计文件和合同规定执行。海关商检结果经监理工程师认可后,可作为有效的材料复验结果。



职业技能

钢材品种检测

本部分内容选自《钢结构现场检测技术标准》(GB/T 50621—2010)。本检测方法适用于采用化学成分分析方法判断国产结构钢钢材的品种。

1. 钢材取样与分析

(1)取样所用工具、机械、容器等应预先进行清洗。

(2)钢材取样时,应避开钢结构在制作、安装过程中有可能受切割火焰、焊接等热影响的部位。

(3)在取样部位可用钢锉打磨构件表面,除去表面油漆、锈斑,直至露出金属光泽。

(4)屑状试样宜采用电钻钻取。同一构件钢材宜选取 3 个不同部位进行取样,每个部位的试样重量不宜少于 5 g。取样过程中应避免过热而引起屑状试样发蓝、发黑的现象,也不得使用水、油或其他滑油剂。取样时,宜去掉钢材表面 1 mm 以内的浅层试样。

(5)宜采用化学分析法测定试样中 C、Mn、Si、S、P 五元素的含量。对于低合金高强度结构钢,必要时,可进一步测定试样中 V、Nb、Ti 三元素的含量。

(6)采用化学分析法测定钢材中 C、Mn、Si、S、P、V、Nb、Ti 等元素的含量时,其操作与测定应符合现行国家标准《钢铁 总碳硫含量的测定 高频感应炉燃烧后红外吸收法(常规方法)》(GB/T 20123—2006)和《钢铁及合金化学分析方法》(GB/T 223)中相应元素化学分析方法的有关规定。

2. 钢材品种的判别

钢材的品种应根据钢材中 C、Mn、Si、S、P 五元素或 C、Mn、Si、S、P、V、Nb、Ti 八元素的含量,对照现行国家标准《碳素结构钢》(GB/T 700—2006)、《低合金高强度结构钢》(GB/T 1591—2018)中的化学成分含量进行判别。



原材料质量控制

原材料质量是工程质量的基础。若原材料质量不符合要求,工程质量也无法保证。因此,加强原材料的质量控制是提高工程质量的基本条件。

钢结构工程项目的原材料主要分为主材和辅材。主材为钢材(钢板、钢管和型钢等),辅材为连接材料(焊接材料、螺栓和铆钉等)和涂装材料(防腐涂料和防火涂料)。

1. 原材料质量控制的要点

(1)为保证采购的原材料符合规定要求,采购方应选择合格的供货方。

(2)用于工程的主要材料进场时,必须具备正式的出厂合格证和材质证明书。若缺少相关证明资料或对证明资料有疑义,应进行抽样复验,试验结果达到国家标准和技术文件要求后方可使用。

(3)对标志不清或怀疑质量有问题的材料,必须进行抽检;对进口材料应进行商检。

(4)材料抽样和检验方法应符合国家有关标准和设计要求,并能反映该批材料的质量特性。对重要材料应按合同或设计规定增加抽样数量。

(5)必须充分了解材料的性能、质量标准、适用范围和加工要求,慎重选择与使用。例如,焊条的选用应符合母材等级,防腐、防火涂料应注意其相容性。

(6)材料代用必须经设计单位认可。

2. 原材料的质量标准

(1)钢材。

①钢结构工程所用钢材应符合现行相关国家标准的规定。

②承重结构选用的钢材应具备抗拉强度、屈服强度、伸长率及硫、磷含量的合格保证;焊接结构用钢还应具备碳当量的合格保证。重要承重结构用钢材,还应有冷弯试验的合格保证。

③对于重级工作制和吊车起重量大于或等于 50 t 的中级工作制焊接吊车梁、吊车桁架或类似结构所用钢材,除应具备上述性能的合格保证外,还应有常温冲击韧性的合格保证。设计有要求时,还须进行 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冲击韧性试验并达到合格标准。其他重要工作制的类似钢结构钢材在必要时,也应具备冲击韧性的合格保证。

④钢结构工程所采用钢材应附有质量证明书,各项指标应满足设计文件要求。

⑤钢材表面的质量除应符合国家现行有关标准的规定外,还应符合下列规定。

a. 钢材表面若有锈蚀、麻点、划伤、压痕,其深度不得大于该钢材厚度负偏差值的 $1/2$ 。

b. 钢材表面锈蚀等级按现行相关国家标准评定,实际工程中宜优先选用 A 级和 B 级,若使用 C 级钢材,必须彻底除锈。

c. 若钢材断口发现分层、夹渣缺陷,应会同有关单位研究处理。

⑥凡进口的钢材,均应以供货国家标准或根据订货合同条款进行检验,商检不合格者不得使用。

⑦用于钢结构工程的钢板、型钢和管材的外形、尺寸、重量及允许偏差应符合现行相关

国家及行业标准的要求。

(2) 连接材料。

① 钢结构工程所使用的连接材料应符合现行相关国家标准的要求。

② 所用的连接材料均应附有产品质量合格证书,并符合设计文件和国家标准的要求。

③ 钢结构工程所使用的焊条药皮不得脱落,焊芯不得生锈,所使用的焊剂不得受潮结块或有熔烧过的渣壳。

④ 保护气体的纯度应符合工艺要求。采用二氧化碳气体保护焊时,二氧化碳的纯度不应低于 99.5%,其含水量不应大于 0.05%;当焊接重要结构时,其含水量不应大于 0.02% (质量分数)。

⑤ 高强度大六角头螺栓连接副应按出厂批号复验扭矩系数,其平均值和标准偏差应符合现行相关标准的规定。扭剪型高强度螺栓连接副应按出厂批号复验预拉力,其平均值和变异系数应符合现行相关标准的规定。

(3) 涂装材料。

① 钢结构工程所采用的涂装材料应具有出厂质量证明书和混合配料说明书,并符合现行有关国家标准和设计的要求;涂料的色泽应满足设计或业主要求,必要时可制作样板封存对比。

② 超过使用期限的涂料须经质量检测合格后方可使用。

③ 钢结构防火涂料的品种和技术性能应符合设计要求,并经国家检测机构检测符合现行有关国家标准的规定。

④ 钢结构防火涂料在使用时应抽检黏结强度和抗压强度,并符合现行有关国家标准的规定。

3. 原材料的质量检验

(1) 目的。原材料质量检验的目的在于通过一系列检测手段,将取得的原材料质量数据与相应的质量标准进行对照,以判断原材料质量的可靠性,且便于掌握材料的质量信息。

(2) 方法。原材料质量检验的方法主要包括资料检查、外观检验、理化试验和无损检测。

① 资料检查。由质检人员对采购材料的质量保证资料、试验报告等进行审核,符合要求后方可使用。

② 外观检验。对材料的品种、规格、标志、外形尺寸等进行直观检查。

③ 理化试验。借助试验设备和仪器,对材料样品的力学性能、化学成分等进行试验分析。

④ 无损检测。在不破坏材料的前提下,采用超声检测、射线检测、表面探伤等方法对材料进行检验。

(3) 内容。原材料质量检验的具体内容见表 1-4。

表 1-4 原材料质量检验的具体内容

序号	材料名称	资料检查	外观检查	理化试验	无损检测
1	钢板	必须	必须	必须	必要时
2	型钢	必须	必须	必要时	必要时
3	焊材	必须	必须	必要时	



续表

序号	材料名称	资料检查	外观检查	理化试验	无损检测
4	高强度螺栓	必须	必须	必须	
5	防腐涂料	必须	必须	必要时	
6	防火涂料	必须	必须	必须	

(4)原材料取样检验。原材料取样检验一般适用于原材料、半成品和辅助材料的质量检验。由于成品已定型,且检验费用较高,特别是破坏性试验,不能对成品逐个检验;若必须进行取样检验,则只能采用抽样检验,通过抽样检验判断该批成品是否合格。

①对质量有疑义的钢材或合同有特殊要求需做跟踪追溯的材料,应进行抽样检查;抽样检查必须分批、分规格并按标准进行。

②当质量证明书的保证项目少于设计要求时,质检人员在征得设计单位同意后,可对所缺项目(不多于两项)的钢材按每批抽样补做所缺项目试验,合格后亦可使用。

③当混炉批号、混批号的钢材为不同强度等级时,应逐个进行光谱或力学性能试验,确定强度等级。

④高强度螺栓连接副抗滑移系数试验应每批、每种工艺单独检验,每批取三组试件。

⑤在防火涂料涂装中,每使用 100 t 薄涂膨胀型钢结构防火涂料应抽检一次黏结强度;每使用 500 t 厚涂型钢结构防火涂料应抽检一次黏结强度和抗压强度。

⑥材料的无损检测应按合同和设计要求规定的抽样比例进行检验。

4. 原材料的选用

原材料选用不当,会严重影响工程质量,甚至造成质量事故。为此,应针对工程特点,根据原材料的性能、质量标准、适用范围和加工要求等进行综合考虑,慎重选用原材料。

(1)对于混炉号、批号的钢材,当为同一强度等级时,应按质量证明书中质量等级较低者使用。

(2)材料代用须征得设计单位的许可。

(3)首次使用的钢材、焊接材料等,均应进行焊接工艺评定,合格后方可选用。

(4)选用的焊条型号应与构件钢材的强度相适应,药皮类型应按构件的重要性选用,重要构件宜采用低氢型焊条。

5. 原材料的储存管理

(1)加强对原材料的质量控制。原材料进场必须按规定的技术条件进行检验,合格后方可入库和使用。

(2)钢材应按种类、材质、炉号(批号)、规格等分类平整堆放,并做好标识。

(3)焊材必须分类堆放并有明显标志,不得混放;焊材仓库应保持干燥、通风,严格控制库内温度和湿度。

(4)高强度螺栓存放应防潮、防雨、防尘,并按类型、规格、批号分类保管。因长期存放或保管不善造成生锈、污染脏物等可能改变扭矩系数或性能的螺栓,应视情况进行清洗、除锈和润滑等处理,并对螺栓进行扭矩系数或预拉力检验,合格后方可使用。

(5)防腐涂料和防火涂料属于时效性材料,库存积压易过期失效,应遵循先进先用的原

则,做好时效管理。对存放过久、超过使用期限的涂料,应取样进行质量检测,检测项目按产品标准或设计要求确定。

(6)企业应建立严格的进料验证、入库、保管、标记、发放和回收制度,使材料处于受控状态。

项目测试

1. 钢材的主要力学性能有哪些? 各项力学性能指标分别用于衡量钢材的哪些性能?
2. 简述钢材中化学成分对其性能的影响。
3. 简述工作温度对钢材性能的影响,并说明钢结构不耐火的原因。
4. 钢材发生脆性断裂的主要因素有哪些? 工程中应如何预防脆性断裂?
5. 什么是钢材的疲劳破坏? 工程中应如何尽量避免疲劳破坏的发生?
6. 钢材选用原则主要包括哪些方面?

项目评价

专业：		班级：		姓名：			
项目名称:建筑钢材							
评价项目	评价指标	评价依据	评价方式		分值	得分	总分
			小组评价	教师评价			
			20%	80%			
职业素养	(1)遵守学校管理规定,遵守钢结构实训室规章制度; (2)按时完成学习任务和工作任务; (3)工作态度积极主动,勤学好问; (4)具备团队协作意识,能够承担责任并进行合理分享	(1)考勤(10分):迟到或早退每次扣4分,缺勤扣10分; (2)学习与工作表现(10分):违反规章制度一次扣5分,未完成任务扣5分,扣完为止; (3)场地与设备维护(10分):符合企业8S管理规范得10分,未按要求操作每处扣2分,扣完为止			30		
专业能力	能够完成低碳钢的拉伸试验	按要求完成低碳钢拉伸试验得15分,未按要求完成不得分			15		



续表

评价项目	评价指标	评价依据	评价方式		分值	得分	总分
			小组评价	教师评价			
			20%	80%			
专业能力	能够采取有效措施防治钢材的疲劳破坏	能够采取有效措施防治钢材疲劳破坏得 15 分,未按要求完成不得分			15		
	能够在团队协作条件下进行钢材选用	按要求合理选用钢材得 15 分,未按要求完成不得分			15		
	能够进行钢材品种的检测	能够准确检测钢材品种得 15 分,计算或判断错误每处扣 3 分,扣完为止			15		
创新能力	(1)能够编制现场钢材检测方案; (2)能够对教学管理提出具有创新性的意见和建议	编制完整的施工方案一份,得 5 分;以口头或书面形式提出有效建议,得 5 分			10		
指导教师综合评价	指导教师签名: _____ 日期: _____						