

紧扣规范 详图详解

钢结构工程施工技术新规范应用丛书

图解钢结构 焊接

助力读者拓展专业视野、提升专业素质 姜学成 姜宇峰 王景文 主编

► 新技术、新工艺、新材料、新设备知识

材料进场 质量检查掌握主动

成熟工艺 过程控制分项达标

施工质量 强化验收有的放矢

新

速学钢结构施工

图为工艺细节 表为关键数据 文为技术要点

从实践出发

服务工程实践

内容全面充实 结构合理便查
标准最新适用 传播先进技术

钢结构工程施工技术规范应用丛书

图解钢结构焊接

姜学成 姜宇峰 王景文 主编



重庆科技学院图书馆



1291573

江苏科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

图解钢结构焊接/姜学成 姜宇峰 王景文主编. —南京:江苏科学技术出版社,2013.1

(钢结构工程施工技术新规范应用丛书)

ISBN 978-7-5537-0276-6

I. ①图… II. ①姜…②姜…③王… III. ①钢结构—焊接—图解
IV. ①TG457.11-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 267851 号

钢结构工程施工技术新规范应用丛书
图解钢结构焊接

主 编 姜学成 姜宇峰 王景文
责任编辑 刘屹立
特约编辑 林 溪
责任校对 郝慧华
责任监制 刘 钧

出版发行 凤凰出版传媒股份有限公司
江苏科学技术出版社
出版社地址 南京市湖南路1号A楼,邮编:210009
出版社网址 <http://www.pspress.cn>
经 销 凤凰出版传媒股份有限公司
印 刷 天津泰宇印务有限公司

开 本 710 mm×1 000 mm 1/16
印 张 18.5
字 数 394 000
版 次 2013年1月第1版
印 次 2013年1月第1次印刷

标准书号 ISBN 978-7-5537-0276-6
定 价 37.00 元

图书如有印装质量问题,可随时向我社销售部调换。

本书编委会

主 编 委	姜学成	姜宇峰	王景文	
	常文见	董炳辉	贾小东	姜学成
	姜宇峰	李海龙	刘金杰	孟 健
	齐兆武	阮 娟	田晓光	王 彬
	王春武	王继红	王加生	王景怀
	王景文	王军霞	王立春	吴永岩
	徐红艳	杨凯隽	于忠伟	张会宾
	赵福胜	周丽丽	祝海龙	

内 容 简 介

本书包括焊接基础知识、焊接材料与焊接工艺、手工电弧焊、埋弧焊、CO₂ 气体保护焊、电渣焊、栓焊、典型钢结构焊接工艺措施、焊接质量与安全等九章内容，本着从实践出发、服务工程实践的原则，集焊接理论、技能、管理、资料等各方面知识的精华，以简洁的语言、丰富的图表为主要表述手段。

本书可供建筑钢结构电焊工现场查阅，或作为其上岗培训教程，也可作为现场编制电焊技术交底的蓝本，同时可为工程设计及生产技术人员提供指导，或作为大专院校相关专业的教材。

前 言

随着我国钢材产量不断提高，钢结构体系在建筑领域中占的比重越来越大，被广泛应用于高层建筑、各类厂房、大跨度空间结构、交通桥梁和住宅工程中。相比较传统的钢筋混凝土结构，钢结构建筑具有自重小、安装容易、施工周期短、抗震性能好、投资回收快、环境污染少等综合优势，与钢筋混凝土结构相比，更具有“高、大、轻”三个方面的优势。其在节能减排方面的独特技术优势，符合“绿色建筑”的大趋势，是一种节能环保、可循环使用、施工快捷的建筑结构，符合发展省地节能型建筑要求，有利于实现经济的持续、健康发展。

虽然近年来钢结构工程发展迅猛，但相比较钢结构应用成熟的先进国家，我国钢结构研究起步晚，限于钢结构工程普及时间、施工方法、施工机具、施工技术水平、施工管理、施工人员素质等多方面因素的制约，我国钢结构施工整体技术水平较低。为了帮助钢结构施工技术人员学习掌握钢结构工程施工技术，普及钢结构基础知识，推动我国钢结构行业施工技术水平的提高，本丛书首先安排以下分册，以飨读者：

1. 《图解建筑钢结构加工制作》；
2. 《图解钢结构焊接》；
3. 《图解建筑钢结构安装》；
4. 《图解钢结构涂装防护》；
5. 《图解轻型房屋钢结构施工》。

编者在本丛书的编写过程中，参考了一些资料和书籍，并得到部分省市建筑公司的大力支持和帮助，在此表示衷心感谢。由于编者水平有限，加之时间仓促，书中不足之处在所难免，敬请读者批评指正。

编者

2013年1月

目 录

1	焊接基础知识	1
1.1	一般规定	1
1.2	焊接母材	4
1.3	焊接方法	8
1.4	焊缝与焊接接头	14
1.5	焊接坡口	31
2	焊接材料与焊接工艺	41
2.1	焊接材料	41
2.2	焊接工艺	74
2.3	焊接工艺评定	85
2.4	焊接补强与加固工艺	106
2.5	焊接工艺指导书推荐表格及填写要求	109
3	手工电弧焊	113
3.1	焊接准备	113
3.2	焊接操作	134
3.3	焊接变形矫正	143
4	埋弧焊	163
4.1	焊接准备	164
4.2	焊接工艺	178
5	CO ₂ 气体保护焊	182
5.1	焊接准备	182
5.2	焊接工艺	196
6	电渣焊	202
6.1	焊接准备	203
6.2	焊接工艺	207

7	栓焊	209
7.1	栓焊焊接过程	209
7.2	栓焊材料和设备	210
7.3	栓焊工艺	214
7.4	施工质量检验及验收	219
8	典型钢结构焊接工艺措施	221
8.1	钢结构构件焊接工艺	221
8.2	薄壁型钢屋架的装配和焊接	225
8.3	箱形柱焊接工艺	227
8.4	空心球—钢管网架结构焊接	234
8.5	钢管桁架结构焊接	237
9	焊接质量与安全	239
9.1	焊接质量标准	239
9.2	焊缝质量检验	246
9.3	焊接安全与环境保护	262
附录 1	焊接材料管理常用表格示例	276
附录 2	电焊工安全教育培训标准化问答卷	282
参考文献		286

1 焊接基础知识

焊接作为一种基本的加工连接方法,应用相当广泛,随着工业和科学技术事业的发展,焊接技术越来越显示出它的优越性。焊接的实质就是将两个物体借助于原子的结构连接成一个整体的过程。为了实现焊接过程,就必须使两个被焊物体相互接近到原子间的作用力能够相互发生作用的程度。焊接技术就是采用加热、加压或加压的同时加热等方法来克服阻碍原子相互结合的因素,以达到永久牢固连接的目的。

焊接的优点很多,如:焊件一般均不设连接板而直接连接;不削弱焊件截面;构造简单、节省材料、操作简便省工、生产效率高,在一定条件下还可采用自动化作业;焊接的刚度大、密闭性能好。但也有一定缺点,如:焊缝附近热影响区的材质变脆;焊接产生的残余应力和残余变形对结构产生不利影响;焊接结构因刚度大,故对裂纹很敏感,一旦产生局部裂纹时便易于扩展,在低温下易发生脆断。

焊接不仅是构件制造的基本连接方法,同时也是构件安装连接的一种重要方法。除了少数直接承受动力荷载结构的某些部位(如:吊车梁的工地拼接、吊车梁与柱的连接、重级工作制吊车梁上翼缘与制动结构的连接等),因容易产生疲劳破坏而在采用时宜有所限制外,其他部位均可普遍应用。

1.1 一般规定

1. 焊接难度的划分

焊接难度可分为易、一般、较难和难四种情况。施工单位在承担焊接工程时应具备与焊接难度相适应的技术条件。焊接难度可按表 1-1 区分。

表 1-1 建筑钢结构工程的焊接难度区分原则

焊接难度 影响因素 焊接难度等级	节点复杂程 度和拘束度	板厚 t/mm	受力状态	钢材碳当量 ^① CEV/(%)
A(易)	简单对接、角接, 焊缝能自由收缩	$t \leq 30$	一般静载拉、压	≤ 0.38
B(一般)	复杂节点或已施 加限制收缩变形的 措施	$30 < t \leq 60$	静载且板厚方向 受拉或间接动载	$0.38 < \text{CEV} \leq 0.45$

① CEV 为碳当量,按 CEV = C + Mn/6 + Ni/12 + Cr/5 + Cu/13 计算,其中 C、Mn、Ni、Cr、Cu 分别为碳、锰、镍、铬、铜的质量百分数。

续表

焊接难度 影响因素 焊接难度等级	节点复杂程 度和拘束度	板厚 t/mm	受力状态	钢材碳当量 ^① CEV/(%)
C(较难)	复杂节点或局部 返修条件而使焊缝 不能自由收缩	$60 < t \leq 100$	直接动载、抗震设 防烈度等于 7 度	$0.45 < \text{CEV}$ ≤ 0.50
D(难)		$t > 100$	直接动载、抗震设 防烈度大于 8 度	$\text{CEV} > 0.50$

注:① 按计算公式, $\text{CEV}(\%) = C + \frac{\text{Mn}}{6} + \frac{\text{Cr} + \text{Mo} + \text{V}}{5} + \frac{\text{Cu} + \text{Ni}}{15}(\%)$ (适用于非调质钢)。

为了提高建筑钢结构工程焊接质量,保证结构使用安全,表 1-1 将影响施工焊接难易程度的各种基本因素分为四个等级,以此为原则将建筑钢结构工程焊接区分为易、一般、较难和难四种情况。针对不同情况,施工企业在承担钢结构工程时应具备与焊接难度相适应的技术条件,如施工企业的资质、焊接施工装备能力、施工技术和人员水平能力、焊接工艺技术措施、检验与试验手段、质保体系和技术文件等。

表 1-1 中的钢材碳当量是依据国内钢材产品的实际情况进行分级的, $\text{CEV} < 0.38\%$ 适用于屈服强度 $\leq 295 \text{ MPa}$ 钢。 $0.38\% < \text{CEV} \leq 0.45\%$ 适用于屈服强度 $295 \sim 370 \text{ MPa}$ 钢。 $0.45 < \text{CEV} \leq 0.50$ 适用于屈服强度 $370 \sim 420 \text{ MPa}$ 钢。 $\text{CEV} > 0.50$ 适用于屈服强度 $> 420 \text{ MPa}$ 钢。

2. 焊接技术要求

(1) 应明确规定结构构件使用钢材、焊接材料的类型和焊缝质量等级,有特殊要求时,应标明无损探伤的类别和抽查百分比。

(2) 应标明钢材和焊接材料的品种、性能及相应的国家现行标准,并应对焊接方法、焊缝坡口形式和尺寸、焊后热处理要求等做出明确规定。对于重型、大型钢结构,应明确规定工厂制作单元和工地拼装焊接的位置,标注工厂制作或工地安装焊缝符号。

以上规定是根据目前建筑钢结构设计现状而提出的。设计文件应当对焊接质量等要求做出全面而合理的规定,施工企业则应当按设计文件的规定组织焊接施工,从而确保钢结构施工质量满足设计要求。

(3) 制作与安装单位承担钢结构焊接工程施工图设计时,应具有与工程结构类型相适应的设计资质等级或由原设计单位认可。

3. 焊接技术条件

(1) 应具有国家认可的企业资质和焊接质量管理体系。

(2) 应具有相应资格的焊接技术责任人员、焊接质检人员、无损探伤人员、焊工、焊接预热和后热处理人员。

(3) 对焊接技术难或较难的大型及重型钢结构、特殊钢结构工程,施工单位的

焊接技术责任人员应由中、高级焊接技术人员担任。

(4) 应具备与所承担工程的焊接技术难易程度相适应的焊接方法、焊接设备、检验和试验设备。

(5) 计量器具的仪器、仪表应在计量检定有效期内。

(6) 应具有与所承担工程的结构类型相适应的企业钢结构焊接规程、焊接作业指导书、焊接工艺评定文件等技术文件。

(7) 特殊结构或采用屈服强度等级超过 390 MPa 的钢材、新钢种、特厚材料及焊接新工艺的钢结构工程的焊接制作与安装企业应具备焊接工艺试验室和相应的试验人员。

4. 焊接环境要求

(1) 焊接作业区风速当手工电弧焊超过 8 m/s 或气体保护电弧焊及药芯焊丝电弧焊超过 2 m/s 时,应设防风棚或采取其他防风措施。制作车间内焊接作业区有穿堂风或鼓风机时,也应按以上规定设挡风装置。在现场进行电弧焊,当风速超过 7.9 m/s 时,应采取挡风措施。

(2) 焊接作业区的相对湿度不得大于 90%。

(3) 当焊件表面潮湿或有冰雪覆盖时,应采取加热祛湿除潮措施。

(4) 焊接作业区环境温度低于 0℃ 时,应将构件焊接区各方向大于或等于 2 倍钢板厚度且不小于 100 mm 范围内的母材,加热到 20℃ 以上后方可施焊,且在焊接过程中均不应低于这一温度。实际加热温度应根据构件构造特点、钢材类别及质量等级和焊接性、焊接材料熔敷金属扩散氢含量、焊接方法和焊接热输入等因素确定,其加热温度应高于常温下的焊接预热温度,并由焊接技术责任人员制订出作业方案经认可后方可实施。作业方案应保证焊工操作技能不受环境低温的影响,同时对构件采取必要的保温措施。

(5) 焊接作业区环境超出规定但必须焊接时,应对焊接作业区设置防护棚并由施工企业制订出具体方案,连同低温焊接工艺参数、措施报监理工程师确认后实施。

(6) 雨天、雪天不宜在现场进行施焊。必须施焊时,应采取有效遮蔽措施。焊后未冷却接头不得碰到冰雪。

5. 焊接人员资格要求

(1) 焊接技术责任人员应接受过专门的焊接技术培训,取得中级以上技术职称,并有 1 年以上焊接生产或施工实践经验。

(2) 焊接质检人员应接受过专门的技术培训,有一定的焊接实践经验和技术水平,并具有质检人员上岗资质证。

(3) 无损探伤人员必须由国家授权的专业考核机构考核合格,其相应等级证书应在有效期内,并按考核合格项目及权限从事焊缝无损检测和审核工作。

(4) 焊工应经考试合格并取得资格证书,其施焊范围不得超越资格证书的

规定。

(5) 气体火焰加热或切割操作人员应具有气割、气焊操作上岗证。

(6) 焊接预热、后热处理人员应具备相应的专业技术。用电加热设备加热时,其操作人员应经过专业培训。

6. 焊接相关人员的职责

(1) 焊接技术责任人员负责组织焊接工艺评定,编制焊接工艺方案、技术措施、焊接作业指导书或焊接工艺卡,处理施工过程中的焊接技术问题。

(2) 焊接质检人员负责对焊接作业进行全过程的检查和控制,根据设计文件要求确定焊缝检测部位、填报签发检测报告。

(3) 无损探伤人员应按设计文件或相应规范规定的探伤方法及标准,对受检部位进行探伤,填报签发检测报告。

(4) 焊工应按焊接作业指导书或工艺卡规定的工艺方法、参数和措施进行焊接,当遇到焊接准备条件、环境条件及焊接技术措施不符合焊接作业指导书要求时,应要求焊接技术责任人员采取相应整改措施,必要时拒绝施焊。

(5) 焊接预热、后热处理人员应按焊接作业指导书及相应的操作规程进行作业。

1.2 焊接母材

钢结构所用钢材(焊接母材)主要是热轧成型的钢板、型钢以及冷加工(冷弯、冷压和冷轧)成型的型钢。

1.2.1 焊接母材类型

1. 热轧钢板

钢板分为薄钢板(厚度 ≤ 4 mm)和厚钢板(厚度 > 4 mm)两种,钢板的标注符号是“—(钢板截面代号)宽度 \times 厚度 \times 长度”,单位为“mm”,也可仅用“—宽度 \times 厚度”或“—厚度”来表示。例如“—360 \times 12 \times 3600”,也可表示为“—360 \times 12”或“—12”。

2. 热轧型钢

常用的热轧型钢有角钢、槽钢、工字钢、H型钢和钢管等,其规格和截面特性查相关的型钢表。

角钢——分为等边和不等边角钢两种。角钢标注符号是“L(等边角钢代号)边宽 \times 厚度(等边角钢)”或“L边宽 \times 短边宽 \times 厚度(不等边角钢)”,单位为“mm”,如“L100 \times 8”或“L100 \times 80 \times 8”。

槽钢——分为热轧普通槽钢和轻型槽钢两种。槽钢规格用槽钢符号(普通槽钢和轻型槽钢的符号分别为“[”和“Q[”)和截面高度(单位为“cm”)表示,当腹板厚

度不同时,还要标注出腹板厚度类别符号,a、b、c厚度依次增大。例如[10、[20a、Q[20a。与普通钢截面高度相同的轻型槽钢的翼缘和腹板均为较薄,截面面积小,但回转半径大,重量相对较轻。

工字钢——分为普通工字钢和轻型工字钢两种。标注时用符号“I”表示,例如I18、I50a、QI50a。

H型钢——H型钢比工字钢的翼缘宽度大并为等厚度,截面材料分布更为合理,因而在截面积相同条件下,其绕弱轴的抗弯刚度比工字钢大一倍以上,绕强轴的抗弯能力也高于工字钢,用钢量可比工字钢减少10%~30%。H型钢的翼缘等厚度,便于与其他构件连接。H型钢可较方便地加工制成T型钢和蜂窝梁等型材,以满足工程的需要。根据现行国家标准《热轧H型钢和剖分T型钢》(GB/T 11263—2010)的规定,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、薄壁H型钢,它们的代号分别为HW、HM、HN、HT,型号用“高度(或高度的近似值)×宽度(或宽度的近似值)”来表示。例如HW400×400、HM500×300、HN700×300。

钢管——钢结构中常用热轧无缝钢管和焊接钢管。用“ ϕ 外径×壁厚”表示,单位为“mm”。例如 $\phi 360 \times 6$ 。

3. 薄壁型钢

薄壁型钢通常由1.5~6 mm厚的钢板冷弯加工而成,其截面形式和尺寸可按工程要求合理设计。与相同截面积的热轧型钢相比,钢材用量可显著减少,但板壁较薄,对锈蚀影响较为敏感。

1.2.2 焊接母材要求

1. 材质证明与复验

(1) 建筑钢结构用钢材及焊接填充材料的选用应符合设计图的要求,并应具有钢厂和焊接材料厂出具的质量证明书或检验报告;其化学成分、力学性能和其他质量要求必须符合国家现行标准规定。当采用其他钢材和焊接材料替代设计选用的材料时,必须经原设计单位同意。

(2) 钢材的成分、性能复验应符合国家现行有关工程质量验收标准的规定;大型、重型及特殊钢结构的主要焊缝采用的焊接填充材料,应按生产批号进行复验。

复验应由国家技术质量监督部门认可的质量监督检测机构进行。

(3) 钢结构工程中选用的新材料必须经过新产品鉴定。钢材应由生产厂家提供焊接性资料、指导性焊接工艺参数、热加工和热处理工艺参数、相应钢材的焊接接头性能数据等资料;焊接材料应由生产厂家提供贮存资料及焊前烘焙参数、熔敷金属成分、性能鉴定资料及指导性施焊参数,经专家论证、评审和焊接工艺评定合格后,方可在工程中采用。

2. 材料缺陷

(1) 焊接坡口边缘上钢材的夹层缺陷长度超过 25 mm 时,应采用无损探伤检测其深度,如深度不大于 6 mm,应用机械方法清除;如深度大于 6 mm,应用机械方法清除后焊接填满;若缺陷深度大于 25 mm,应采用超声波探伤测定其尺寸,当单个缺陷面积($a \times d$)或聚集缺陷的总面积不超过被切割钢材总面积($B \times L$)的 4% 时为合格,否则该板不宜使用,见图 1-1。

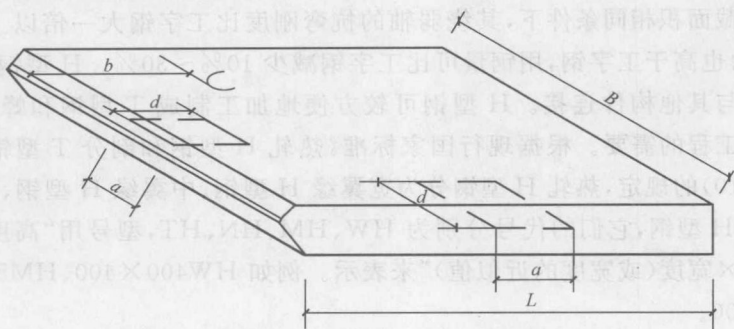


图 1-1 夹层缺陷示意

(2) 钢材内部的夹层缺陷,其尺寸不超过上述(1)的规定且位置离母材坡口表面距离(b)大于或等于 25 mm 时不需要修补;如该距离小于 25 mm 则应修补。

(3) 夹层缺陷是裂纹时,如裂纹深度超过 50 mm 或累计长度超过板宽的 20%,该钢板不宜使用。

3. 其他要求

(1) 钢板厚度方向性能级别为 Z15、Z25、Z35 时相应的含硫量、断面收缩率应符合表 1-2 的规定。

表 1-2 钢板厚度方向性能级别及其含硫量、断面收缩率值

级别	含硫量 \leq	断面收缩率 $\Psi_2 / (\%)$	
		三个试样平均值不小于	单个试样值不小于
Z15	0.010%	15	10
Z25	0.007%	25	15
Z35	0.005%	35	25

1.2.3 焊前母材表面清理

在焊前必须进行工件表面清理,以保证接头质量稳定。清理方法分机械清理和化学清理两种。常用的机械清理方法有喷砂、喷丸、抛光以及用纱布或钢丝刷

等。不同的金属和合金,需采用不同的清理方法。

低碳钢和低合金钢在大气中的抗腐蚀能力较低。所以,这些金属在运输、存放和加工过程中常常用抗蚀油保护。如果涂油表面未被车间的脏物或其他不良导电材料污染,在电极的压力下,油膜很容易被挤开,不会影响接头质量。

钢的供货状态有:热轧,不酸洗;热轧,酸洗并涂油;冷轧。未酸洗的热轧钢焊接时,必须用喷砂、喷丸,或者用化学腐蚀的方法清除氧化皮,可在硫酸及盐酸溶液中,或者采用磷化液浸泡或涂刷,除油、除锈、防腐效果较好。

有镀层的钢板,除了少数例外,一般不用特殊清理就可以进行焊接,镀铝钢板则需要用钢丝刷或化学腐蚀剂清理。带有磷酸盐涂层的钢板,其表面电阻会很高,以致在地电极压力下焊接电流无法通过,只有采用较高的压力才能进行焊接。

1.2.4 焊接母材预热

1. 预热温度的确定方法

(1) 根据焊接接头的坡口形式和实际尺寸、板厚及构件拘束条件确定预热温度。当焊接坡口角度及间隙增大时,应相应提高预热温度。

(2) 根据熔敷金属的扩散氢含量确定预热温度。扩散氢含量高时应适当提高预热温度。当其他条件不变时,使用超低氢型焊条打底时预热温度可降低 $25\sim 50^{\circ}\text{C}$ 。如采用二氧化碳气体保护焊,当气体含水量符合现行国家标准《氩》(GB/T 4842—2006)的要求或使用富氩混合气体保护焊时,其熔敷金属扩散氢可视同低氢型焊条。

(3) 根据焊接时热输入的大小确定预热温度。当其他条件不变时,热输入增大 5 kJ/cm ,预热温度可降低 $25\sim 50^{\circ}\text{C}$ 。电渣焊在环境温度为 0°C 以上施焊时可不进行预热。

(4) 根据接头热传导条件选择预热温度。在其他条件不变时,T形接头应比对接接头的预热温度高 $25\sim 50^{\circ}\text{C}$ 。但T形接头两侧角焊缝同时施焊时应按对接接头确定预热温度。

(5) 根据施焊环境温度确定预热温度。操作地点环境温度低于常温(但高于 0°C)时,应提高预热温度 $15\sim 25^{\circ}\text{C}$ 。

(6) 焊接接头板厚不同时,应按厚板确定预热温度;焊接接头材质不同时,按高强度、高碳当量的钢材确定预热温度。

2. 预热方法及层间温度的控制方法

(1) 焊前预热及层间温度的保持宜采用电加热器、火焰加热器等加热,并采用专用的仪器测量温度。

(2) 焊接预热及层间温度的保持宜采用电加热器、火焰加热器及红外线等方

法进行加热,并采用专用的仪器测量温度。预热区在焊道两侧,其宽度均大于焊件厚度的 1.5 倍,且不应小于 100 mm。温度测量点距离焊缝或焊道中心线应不小于 75 mm。

(3) 当要求进行焊后消氢处理时,应符合下列规定:

1) 消氢处理的加热温度应为 200~250℃,保温时间应依据工件板厚按每 25 mm 板厚不小于 0.5 h,且总保温时间不得小于 1 h 的原则确定。达到保温时间后应缓冷至常温。

2) 消氢处理的加热和测温方法按上述(2)的规定执行。

(4) 常用钢材焊接最低预热和层间温度要求应符合表 1-3 的规定;如通过钢材可焊性试验和焊接工艺评定试验确定预热温度,则焊接预热的最低温度可以低于表 1-3 的要求。层间温度的最大值宜控制在 230℃ 以下。

表 1-3 常用结构钢最低预热和层间温度要求

钢材牌号	接头中较厚部件的板厚 t /mm				
	$t \leq 25$	$25 < t \leq 40$	$40 < t \leq 60$	$60 < t \leq 80$	$t > 80$
Q235、Q235GJ	—	—	60℃	80℃	100℃
Q345、Q345GJ Q390、Q390GJ	—	60℃	80℃	100℃	140℃
Q420、Q420GJ Q460、Q460GJ	60℃	80℃	100℃	120℃	140℃

注:① 接头附近母材温度低于 0℃ 时,必须将接头处母材预热到最低 20℃。

② 表中的最低预热温度适用于采用低氢焊条手工焊、CO₂ 或富氩气体保护焊及埋伏焊等焊缝金属扩散氢较低的焊缝;当采用非低氢焊接材料焊接时,应相应提高预热温度 25~50℃。

③ 环境温度为常温(20℃)。

(5) 定位焊及焊缝返修处的预热温度应高于正常预热温度 50℃ 左右,预热区域应适当加宽。

1.3 焊接方法

焊接连接是现代钢结构最主要的连接方法。其优点是:构造简单,任何形式的构件都可直接相连;用料经济,不削弱截面;制作加工方便,可实现自动化操作;连接的密闭性好,结构刚度大。其缺点是:在焊缝附近的热影响区内,钢材的金相组织发生改变,导致局部材质变脆;焊接残余应力和残余变形使受压构件承载力降低;焊接结构对裂纹很敏感,局部裂纹一旦发生,就容易扩展到整体,低温冷脆问题较为突出。

焊接方法很多,钢结构中主要采用电弧焊,薄钢板($t \leq 3$ mm)的连接有时也可

以采用电阻焊或气焊。各种焊接方法的特点及适用范围见表 1-4。

表 1-4 各种焊接方法的特点及适用范围

焊接类别		特点	适用范围
电弧焊	手工焊	交流焊机 设备简单,操作灵活,可进行各种位置的焊接,是建筑工地应用最广泛的焊接方法	焊接普通钢结构
		直流焊机 焊接技术与交流焊机相同。焊接时电弧稳定,但成本比交流焊机高	焊接要求较高的钢结构
	埋弧自动焊 效率高,质量好,操作技术要求低,劳动条件好,适合在工厂中使用	焊接长度较大的对接、贴角焊缝,一般是有规律的直焊缝	
	半自动焊 与埋弧自动焊基本相同,操作较灵活,但使用不够方便	焊接较短的或弯曲的对接、贴角焊缝	
	CO ₂ 气体保护焊 用 CO ₂ 或惰性气体保护的光焊条焊接,可全位置焊接,质量较好,焊时应避风	薄钢板和其他金属焊接	
电渣焊	利用电流通过液态熔渣所产生的电阻热焊接,能焊大厚度焊缝	大厚度钢板、粗直径圆钢和铸钢等焊接	
气压焊	利用乙炔、氧气混合燃烧的火焰熔融金属进行焊接。焊有色金属、不锈钢时需气焊粉保护	薄钢板、铸铁件、连接件和堆焊	
接触焊	利用电流通过焊件时产生的电阻热焊接,建筑施工中多用于对焊、点焊	钢筋对焊,钢筋网点点焊、预埋件焊接	
高频焊	利用高频电阻产生的热量进行焊接	薄壁钢管的纵向焊缝	

1.3.1 电弧焊

电弧焊是利用焊条或焊丝与焊件间产生的电弧热,将金属加热并熔化的焊接方法。其原理是采用低电压(一般为 50~70 V)、大电流(几十到几百安培)引燃电弧,使焊件与焊条或焊丝之间产生很大热量和强烈的弧光,利用电弧热来熔化焊件的边缘金属和焊条(丝),进行焊接。电弧焊可分为手工电弧焊、自动和半自动埋弧焊及 CO₂ 气体保护焊等。

1. 手工电弧焊

手工电弧焊是钢结构制造中最常用的焊接方法。优点是设备简单、操作灵活、适用性和可达性强,对各种施焊位置和分散或曲折短焊缝均适用。缺点是生产效率比自动、半自动焊低,质量稍低并且变异性大,施焊时电弧光较强。

手工焊所采用的焊条,其表面都敷有一层 1~1.5 mm 厚的药皮。药皮的作用:稳定电弧;施焊时产生气体保护熔融金属与大气隔离,以防止空气中氧氮侵入