

北京市地方标准

DB

编号：DB11/T 1832.5-2023

备案号：J16940-2023

建筑工程施工工艺规程  
第5部分 钢结构工程

Technological specifications for construction  
Engineering part 5: steel structure engineering

2023-04-04 发布

2023-07-01 实施

北京市住房和城乡建设委员会  
北京市市场监督管理局

联合发布

北京市地方标准

建筑工程施工工艺规程

第5部分 钢结构工程

Construction process specification for construction

Engineering part 5: steel structure engineering

编号：DB11/T 1832.5—2023

备案号：J16940-2023

主编部门：北京城建科技促进会

北京城建十六建筑工程有限责任公司

北京建工集团有限责任公司

批准部门：北京市市场监督管理局

施行日期：2023年7月1日

2023年 北京

## 前 言

根据原北京市质量技术监督局《2018年北京市地方标准制修订项目计划》（京质监发[2018]20号）的要求，规程编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考国内相关标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程主要技术内容是：1 总 则；2 基本规定；3 钢结构制作；4 焊条电弧焊；5 埋弧自动焊；6 电渣焊；7 二氧化碳气体保护焊；8 栓钉焊接；9 单层钢结构安装；10 多层与高层钢结构安装；11 高强度螺栓连接；12 楼承板安装；13 空间网格结构高空散装法安装；14 空间网格结构分条或分块法安装；15 空间网格结构高空悬挑法安装；16 滑移法安装；17 整体吊装法安装；18 整体提升法安装；19 整体顶升法安装；20 索结构安装；21 膜结构制作与安装；22 钢结构防腐涂装；23 钢结构防火涂装；24 金属围护结构安装。

本规程由北京市住房和城乡建设委员会和北京市市场监督管理局共同负责管理，由北京市住房和城乡建设委员会归口并负责组织实施，由北京城建科技促进会负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见和建议，请寄送至北京城建科技促进会（北京市西城区广莲路1号，北京建工大厦A座9层907室；邮编：100055；电话：010-63965212；电子邮箱：143c@sohu.com）。

本规程主编单位：北京城建科技促进会  
北京城建十六建筑工程有限责任公司  
北京建工集团有限责任公司

本规程参编单位：北京钢结构行业协会  
中国建筑一局（集团）有限公司  
北京住总集团有限责任公司  
北京城建精工钢结构工程有限公司  
中煤建工集团有限公司  
中铁建设集团有限公司  
北京市机械施工集团有限公司  
中国新兴建设开发有限责任公司  
北京双圆工程咨询监理有限公司  
北京城建亚泰建设集团有限公司  
上海宝冶集团有限公司  
中建四局集团有限公司  
北京住总钢结构工程有限责任公司  
中国建筑第三工程局有限公司  
北京国际建设集团有限公司  
东方诚建设集团有限公司  
大厂金隅涂料有限责任公司  
中建钢构股份有限公司  
宝都国际信息技术有限公司

多维联合集团有限公司  
北京能昂建设有限公司  
唐山冀东发展燕东建设有限公司  
中航天建设工程集团有限公司  
北京万兴建筑集团有限公司  
北京市第五建筑工程集团有限公司

本规程主要起草人员：王建明 夏倚天 王益民 雷鸣炜 赵喜庆 乔聚甫 潘振冬 陈华周  
常海君 唐永讯 朱晓伟 胡鸿志 陈硕晖 郭中华 王保强 李 严  
韩 锋 刘春民 隗功辉 周一萌 武 兵 吕燕柏 潘宏宇 钱 焕  
桑秀兴 马逸群 张植伟 王忠良 徐显辉 王乐梅 孙 均 高 原  
石钰帆 周 烨 多海根 杨 明 王鸿翔 易云朝 金晓飞 刘春民  
王东会 马翠娟 杨 硕 刘梦孟 韩 锋 马 杰 董小龙 李耀晖  
李浓云 李 毅 陈 爽 张治刚 靳晓媛 郑海涛 李 聪 马一方  
王 旭 李 娜 韩 蕊 胡 洋 王惠杰 王福刚 赵记军 刘振东  
郭振涛 张宝谦

本规程主要审查人员：荣军成 刘培祥 孟祥武 苏 磊 卢清刚 田永胜 王国卿 罗玉杰

## 目 次

1 总 则.....	1
2 基本规定.....	2
3 钢结构制作.....	4
4 焊条电弧焊.....	30
5 埋弧自动焊.....	40
6 电渣焊.....	52
7 二氧化碳气体保护焊.....	57
8 栓钉焊接.....	70
9 单层钢结构安装.....	75
10 多层与高层钢结构安装.....	83
11 高强度螺栓连接.....	90
12 楼承板安装.....	98
13 空间网格结构高空散装法安装.....	103
14 空间网格结构分条或分块法安装.....	110
15 空间网格结构高空悬挑法安装.....	117
16 滑移法安装.....	124
17 整体吊装法安装.....	130
18 整体提升法安装.....	137
19 整体顶升法安装.....	144
20 索结构安装.....	148
21 膜结构制作与安装.....	153
22 钢结构防腐涂装.....	162
23 钢结构防火涂装.....	167
24 金属围护结构安装.....	171
本规程用词说明.....	178
引用标准名录.....	179
条文说明.....	181

## CONTENTS

1 General provisions.....	1
2 Basic requirements.....	2
3 Manufacture of steel structure.....	4
4 Electrodes arc welding.....	30
5 Submerged arc welding.....	40
6 Electroslag welding.....	52
7 CO <sub>2</sub> gas metal arc welding.....	57
8 Stud penetration welding.....	69
9 Single-deck steel structure installation.....	74
10 Multiple story and high-rise steel structure installation.....	82
11 High strength bolt construction.....	89
12 Floor support plate install.....	97
13 High-altitude bulk way of space truss structure.....	102
14 Itemize and partition methods space truss structure.....	109
15 High altitude cantilever way of space truss structure.....	116
16 Sliding method of spatial structure .....	122
17 Whole hanging method of spatial structure.....	128
18 Integral lifting method of spatial structure.....	135
19 Integral jacking method of spatial structure.....	142
20 Space cable structure install.....	146
21 Production and installation of membrane structure.....	151
22 Steel construction painting.....	160
23 Steel construction fireproof painting.....	165
24 Steel exterior protected construction.....	169
Explanation of wording in this standard.....	176
List of quoted standards.....	177
Addition: Explanation of provisions.....	179

# 1 总 则

- 1.0.1** 为加强建筑钢结构工程施工管理，规范工艺做法，保证工程质量，制定本规程。
- 1.0.2** 本规程适用于北京地区建筑工程的单层、多层、高层以及空间网格结构、索膜结构等钢结构工程的施工。
- 1.0.3** 钢结构工程的施工工艺除应符合本规程外，尚应符合国家及北京市现行有关标准的规定。

## 2 基本规定

- 2.0.1** 钢结构工程施工单位应具有相应的施工资质、质量管理体系、质量控制及检验制度。
- 2.0.2** 钢结构工程施工前，施工单位应编制施工组织设计、施工方案等技术文件；超过一定规模的钢结构工程的施工技术方案和安全应急预案，应组织专家论证。
- 2.0.3** 钢结构工程施工前应编制专项施工方案，应明确施工工艺、安全防护措施、绿色施工、环境保护等专项措施。
- 2.0.4** 钢结构工程深化设计应考虑工程特点、工厂制造、构件运输、现场安装、专业技术要求、质量标准等内容进行。深化设计文件应经原结构设计单位确认后方可实施。
- 2.0.5** 钢结构工程施工及质量验收时，应使用有效计量器具，各专业施工单位和监理单位应统一计量标准。
- 2.0.6** 钢结构施工用的专用机具和工具，应满足施工要求，且应在鉴定合格有效期内。
- 2.0.7** 钢结构施工应按下列规定进行质量过程控制：
- 1 原材料及成品应进行进场验收；凡涉及安全、功能的原材料及构件，应按规定进行复验，见证取样、送样；
  - 2 钢结构工程施工前应按要求进行焊接工艺评定，编制焊接工艺文件；
  - 3 各工序应按施工工艺要求进行质量控制，实行工序检验；
  - 4 相关专业工种之间应进行交接检验；
  - 5 隐蔽工程在隐蔽前应进行质量验收。
- 2.0.8** 施工现场施工质量检查记录资料完整、数据齐全、真实有效。
- 2.0.9** 项目部组织机构及质量保证体系组织机构健全，各项制度完善。
- 2.0.10** 严格遵循现行的相关施工验收规范和质量标准、施工图纸及设计说明。
- 2.0.11** 所有进场材料质保资料齐全，具有可追溯性，各种材料、工艺、工序必须自检合格方可进入下一道工序。
- 2.0.12** 本规程未涉及的新工艺、新技术、新材料和新结构，首次使用时应进行专项论证。
- 2.0.13** 安装人员应持证上岗。
- 2.0.14** 安全措施方面应符合下列规定：
- 1 应认真执行各工种的安全操作规程；
  - 2 高空作业人员应进行体格检查并持证上岗；
  - 3 现场应配备足够的消防器材和设备；

4 高处作业现场应按标准要求设置安全警戒区、悬挂明显警戒标志，并有专人监护。应设置高空作业水平安全网。高空作业的安全措施发现问题应及时解决，危机人身安全时，应停止作业；

5 危险作业区域应悬挂醒目安全标识牌。

6 高空作业人员应佩戴好安全帽、安全带和工具袋，并对工作防护用品进行逐一检查；

7 不得在 5 级及以上风力下进行安装，雨天、雪天进行高空作业时，应采取可靠的防滑、防寒和防冻措施，对水、冰、霜、雪均应及时清除，方可工作；

8 起重机不得超载吊装；

9 用电设备，应采取漏电保护措施，防止触电。

### 3 钢结构制作

#### 3.1 材料要求

- 3.1.1** 钢结构制作使用的钢材、焊接材料、涂装材料、焊钉和紧固件等应具有质量合格证明文件，应符合设计要求和现行国家标准的规定。
- 3.1.2** 需复验的钢结构材料，应进行现场取样、送样、复验，应复验合格后使用。
- 3.1.3** 用于焊接、切割的气体应符合现行国家标准的规定。
- 3.1.4** 焊条、焊剂、或焊丝质量应符合现行国家标准的规定，焊接材料应集中管理，建立专用仓库，库内应干燥、通风良好，焊接材料使用前应进行烘干处理。
- 3.1.5** 用于栓钉焊的焊钉，其表面不得有影响使用的裂纹、条痕、凹痕和毛刺等缺陷。
- 3.1.6** 螺栓应在干燥通风的室内存放。高强度螺栓的检验验收应符合现行行业标准《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82 的规定，不得使用锈蚀、沾污、受潮、碰伤和混批的高强度螺栓。
- 3.1.7** 涂料应符合设计要求，并存放在专门的仓库内，不得使用过期、变质、结块失效的涂料。
- 3.1.8** 钢材余料应将原钢材的牌号、规格、批号移植到余料表面上，并应根据钢材牌号、规格分类管理。牌号不清的钢材余料经复试合格后方可使用，牌号标识清楚但批号不清的钢材余料不得用于钢结构的主要受力构件。

#### 3.2 主要机具

- 3.2.1** 起重运输设备宜配备桥式起重机、门式起重机、半龙门吊、平板过跨车、叉车、运输车等。
- 3.2.2** 钢结构加工设备宜配备火焰切割机、激光切割机、等离子切割机、相贯线切割机、压力机、剪板机、折弯机、型弯机、滚剪倒角机、卷板机、平板机、H型钢组立机、箱型组立机、翼缘矫正机、矫直机等。
- 3.2.3** 机加工设备宜配备刨边机、车床、数控三维钻床、摇臂钻床、磁力钻、端面铣床、锁口机、镗床、刨床、型钢带锯床等。
- 3.2.4** 焊接设备宜配备直流焊机、交流焊机、CO<sub>2</sub>焊机、埋弧焊机、栓钉焊机、焊接机器人、焊条烘干箱、焊剂烘干箱、焊接滚轮架、烟尘吸附器、空气压缩机等。
- 3.2.5** 检测设备宜配备超声波探伤仪、焊缝检验尺、磁粉探伤仪、数字温度计、漆膜测厚仪、数字钳形电流表、温湿度仪、游标卡尺、钢卷尺、弯尺、直尺、塞尺、全站仪、水准仪、经纬仪等。
- 3.2.6** 除锈涂装设备宜配备抛丸机、无气喷涂机、空气压缩机、喷漆房等。

#### 3.3 作业条件

- 3.3.1 钢结构制作详图深化设计文件已经原设计单位确认。
- 3.3.2 制作工艺、施工方案、作业指导书等编制完成并经审核批准。
- 3.3.3 各种工艺评定试验及工艺性能试验完成。
- 3.3.4 材料经检验复验合格。
- 3.3.5 各种机械设备调试验收合格。
- 3.3.6 使用的计量器具经计量检定、校准合格，并在有效期内。
- 3.3.7 操作人员上岗前应进行了岗前培训并考试合格，完成技术交底，特殊工种应取得相应资格的上岗证书。

### 3.4 施工工艺

3.4.1 钢结构制作宜按照图 3.4.1 规定的工艺流程进行操作：

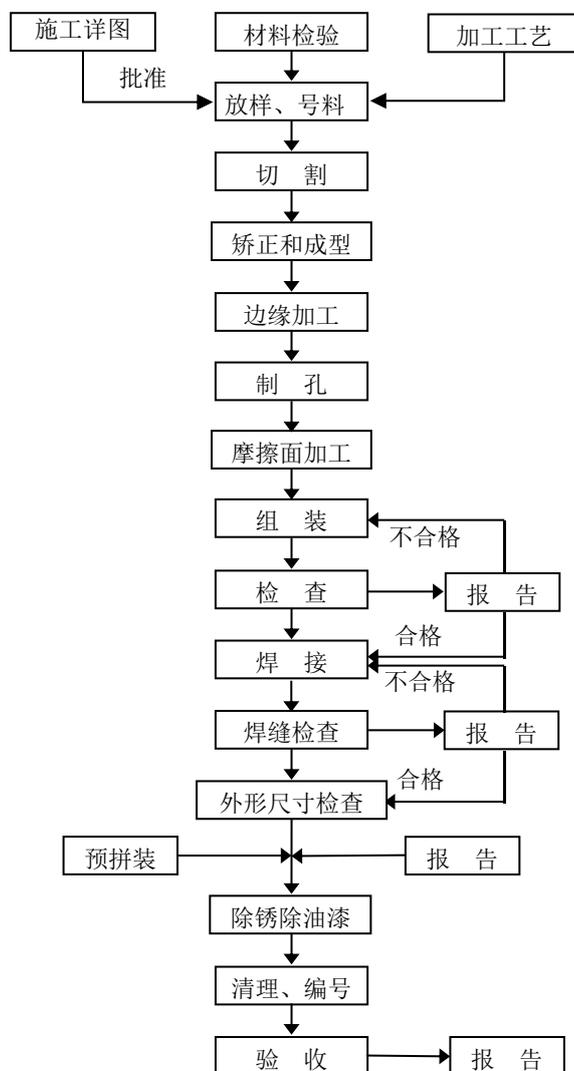


图 3.4.1 钢结构制作工艺流程

3.4.2 施工图深化设计应符合下列规定：

1 钢结构深化设计应满足钢结构施工构造、施工工艺、构件运输、吊装等有关技术要求；

2 钢结构施工深化设计图应包括图纸目录、深化设计总说明、关键节点构造、焊缝通图、构件布置图、构件清单、构件详图和零件图等内容；

3 钢结构制作详图应根据施工图进行深化，并应经设计单位审核确认。

#### 3.4.3 钢结构制作的放样、号料应符合下列规定：

1 号料前应检查原材料的质量，不同规格、不同材质的零件应分别号料，并应依据先大后小的原则依次号料；

2 样板样杆上应写明加工号、构件编号、规格，同时标注上孔直径、工作线、弯曲线等各种加工符号；

3 放样和号料应预留焊接收缩量及切割、端铣等需要的加工余量；

4 剪切加工宜每边加 3mm~4mm 的端铣余量，火焰切割加工宜每边加 4mm~5mm 的端铣余量；

5 切割缝余量根据板厚、割嘴型号和切割工艺确定；

6 焊接收缩量根据构件的结构特点由工艺设计人员给出；

7 主要受力构件和需要弯曲的构件，在号料时应按工艺规定的方向取料，弯曲件的外侧不应有样冲点和伤痕缺陷；

8 号料应有利于切割和保证零件质量；

9 号料后的剩余材料应进行余料标识，包括余料编号、规格、材质及炉批号等。

#### 3.4.4 钢结构制作的切割应符合下列规定：

1 下料划线后的钢材，应按其所需的形状和尺寸进行下料切割；

2 切割时应按下列要点进行：

1) 当一张钢板上排列许多个零件并有几条相交的切割线时，应预先安排好合理的切割程序后再进行切割；

2) 材料剪切后的弯曲变形，应进行矫正；切割面粗糙或带有毛刺，应修磨光洁；

3) 切割过程中，切口附近发生挤压和弯曲时，重要的结构件和焊缝的接口位置，应采用铣、刨或砂轮磨削等方法处理。

3 机械切割时应按下列要点进行：

1) 型钢应进行校直后方可进行锯切；

2) 宜采用数控带锯床进行锯切，无数控带锯床时，单件锯切的构件，先划出号料线，然后对线锯切；成批加工的构件，可预先安装定位挡板进行加工；

- 3) 加工精度要求较高的重要构件，应预留适当的加工余量，供锯切后进行端面精铣；
- 4) 锯切时，应注意切割断面垂直度的控制；
- 5) 机械剪切的零件厚度不宜大于 12mm，剪切面应平整。碳素结构钢在环境温度低于-20℃、低合金结构钢在环境温度低于-15℃时，不得进行剪切、冲孔。

#### 4 火焰切割时应按下列要点进行：

- 1) 火焰切割前应检查确认整个火焰切割系统的设备和工具全部运转正常，并确保安全；
- 2) 火焰切割时应选择正确的工艺参数，切割时应调节好射流的形状，保持轮廓清晰；
- 3) 火焰切割前应去除钢材表面的污垢、油污及浮锈和其他杂物，并在背面留出足够的熔渣吹出的空间；
- 4) 火焰切割时，应防止回火；
- 5) 应先从短边开始切割，先割小件，后割大件，先割较复杂的，后割较简单的，减小火焰切割变形；
- 6) 火焰切割工艺参数应符合表 3.4.4 的规定：

表 3.4.4 火焰切割工艺参数

割嘴型号	板厚(mm)	氧气压力(MPa)	丙烷压力(MPa)	切割速度(mm/min)
1	6-10	0.69~0.78	>0.3	450~650
2	10~20	0.69~0.78	>0.3	350~500
3	20~30	0.69~0.78	>0.3	300~450
4	30~40	0.69~0.78	>0.3	300~400
5	40~60	0.69~0.78	>0.4	250~350
6	60~100	0.69~0.78	>0.5	200~300
7	100~150	0.69~0.78	>0.5	140~270

#### 5 等离子切割时应按下列要点进行：

- 1) 应根据不同切割板厚选择适当的工作气体流量；
- 2) 应选择合适的电极内缩量，电极到割嘴端面的距离宜取 8mm~11mm；
- 3) 应选择合适的割嘴高度，割嘴端面到被割工件表面的距离，宜为 4mm~10mm；
- 4) 宜在保证切割质量的前提下，尽可能提高切割速度，减少被割工件的变形量和割缝区的热影响区域，避免黏渣增加。

#### 3.4.5 钢结构制作的矫正和成型应符合下列规定：

- 1 矫正可采用机械矫正、加热矫正、加热与机械联合矫正等方法；
- 2 机械矫正可使用翼缘矫正机、压力机等，加热矫正可使用点状加热、线状加热和三角形加热（图 3.4.5-1）三种，构件同一区域加温不宜超过二次；

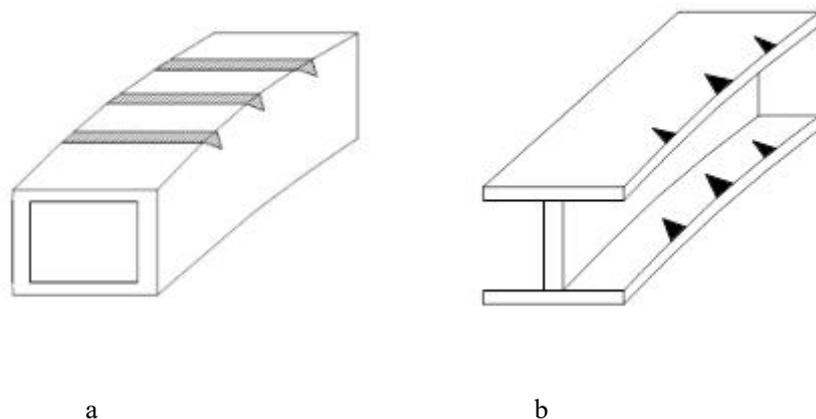


图 3.4.5-1 火焰矫正示意图

a—线状加热；b—三角形加热

3 碳素结构钢在环境温度低于 $-16^{\circ}\text{C}$ 、低合金结构钢在环境温度低于 $-12^{\circ}\text{C}$ 时，不应进行冷矫正和冷弯曲；

4 碳素结构钢和低合金结构钢在加热矫正时，加热温度应为 $700^{\circ}\text{C}\sim 800^{\circ}\text{C}$ ，最高温度不得超过 $900^{\circ}\text{C}$ 。低合金结构钢加热矫正后应自然冷却，不得浇水冷却，并应避免雨淋；

5 零件采用热加工成型时，加热温度应控制在 $900^{\circ}\text{C}\sim 1000^{\circ}\text{C}$ ，碳素结构钢和低合金结构钢应分别在温度降至 $700^{\circ}\text{C}$ 和 $800^{\circ}\text{C}$ 之前应结束加工，低合金结构钢，应自然冷却；

6 钢结构制作的矫正工艺流程应符合图 3.4.5-2 的规定。

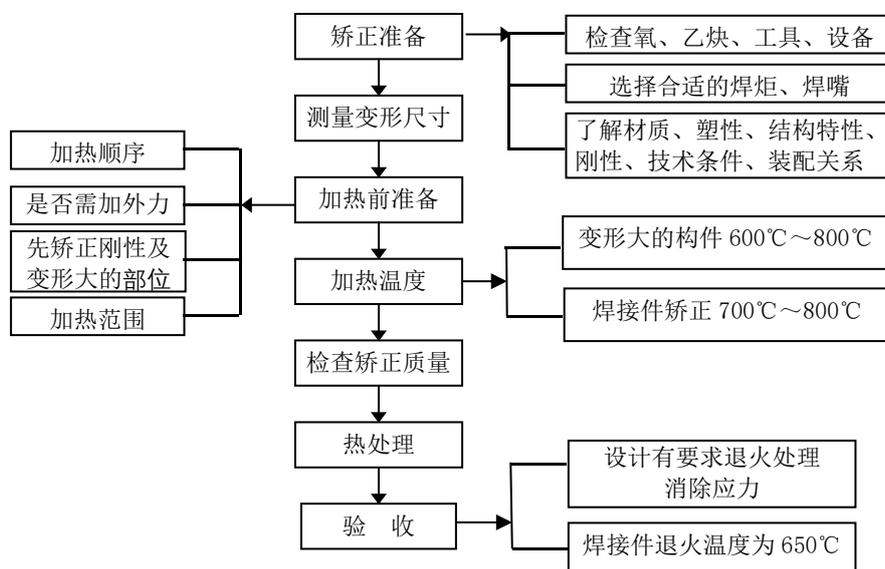


图 3.4.5-2 矫正工艺流程

3.4.6 钢结构制作的边缘加工应符合下列规定：

- 1 边缘加工可采用火焰切割和机械加工方法，对边缘有特殊要求时宜采用精密切割；
- 2 火焰切割的零件当需要消除影响区进行边缘加工时，加工余量应不小于 $2\text{mm}$ ；

3 机械加工边缘应把表面的缺陷清除掉，深度不得小于 2mm，加工后表面不应有损伤和裂缝，在进行打磨加工时，磨削的痕迹应当顺着边缘；

4 碳素结构钢的零件边缘，在手工切割后表面应进行处理，不平度不得超过 1mm；

5 构件端部支承边要求刨平顶紧或构件端部截面精度要求较高的应进行刨边或铣边；

6 施工图有特殊要求的火焰切割边缘应进行刨边，板材或型钢的剪切边缘可不刨边；

7 零件边缘进行切割之后，其切割表面的平面度应不大于 1mm，应无毛刺等缺陷；

8 柱端铣平顶紧接触面应有 75%以上的面积紧贴，用 0.3mm 塞尺检查，其塞入面积不得大于 25%，边缘间隙也不应大于 0.5mm；

9 应根据构件材料和加工要求合理选择铣刀和铣削量；

10 构件的端部加工应在矫正合格后进行；

11 应根据构件的形式采取必要的措施，保证铣平端与轴线垂直。

#### 3.4.7 钢结构构件制孔应符合下列规定：

1 用于普通螺栓、半圆头铆钉、自攻螺丝等连接的孔可采用钻孔、铣孔、冲孔、铰孔等制作方法，对直径较大或长形孔也可采用火焰切割制孔；

2 构件制孔优先采用钻孔，厚度在 5mm 以下的普通结构钢允许冲孔，次要结构厚度小于 12mm 允许采用冲孔。在冲切孔上不得随意施焊，除非证明材料在冲切后，仍保留有相当韧性，则可焊接施工。宜在需要所冲的孔上再钻大时，则冲孔应比指定的直径小 3mm；

3 钻孔前应磨好钻头，并应合理地选择切削余量；

4 制成的螺栓孔，应为正圆柱形，并垂直于所在位置的钢材表面，倾斜度应小于 1/20，其孔周边应无毛刺、破裂、喇叭口或凹凸的痕迹，切削应清除干净；

5 精制或铰制成的螺栓孔直径和螺栓杆直径相同，采用配钻或组装后铰孔，孔应具有 H12 的精度，孔壁表面粗糙度 Ra 不应大于 12.5 μm；

6 利用钻床进行多层板钻孔时，应采取有效的防止窜动措施。

#### 3.4.8 钢结构摩擦面加工应符合下列规定：

1 高强度螺栓连接摩擦面的加工，可采用喷砂、抛丸和砂轮机打磨等方法，砂轮机打磨方向应与构件受力方向垂直，且打磨范围不得小于螺栓孔直径的 4 倍；

2 经处理的摩擦面应采取防油污和损伤保护措施；

3 制作厂和安装单位应分别按钢结构制造批进行抗滑移系数试验和复验，制作批可按分部、子分部工程所含高强度螺栓用量划分，每 50000 个高强度螺栓用量的钢结构为一批，不足 50000 个高强度螺栓用量的钢结构也应划为一批。选用两种及两种以上及有涂层摩擦面表面处理工艺时，每种处理工艺应检验抗滑移系数，每批 3 组试件；

4 抗滑移系数试验用的试件应由制作厂加工，试件与所代表的钢结构构件应为同一材

质、同批制作、采用同一摩擦面处理工艺和具有相同的表面状态，在同一环境条件下存放，并应用同批同一性能等级的高强度螺栓连接副。每批 6 组试件，其中 3 组供制作厂检验用，3 组供安装现场复验用；

5 试件钢板的厚度，应根据钢结构工程中有代表性的板材厚度来确定，试件板面应平整、无油污，孔和板的边缘无飞边、毛刺；

6 制作厂应在钢结构制造的同时进行抗滑移系数试验，并出具报告，试验报告应写明摩擦面处理工艺和结果；

7 安装复验抗滑移系数用的试件，应与构件同时交付安装现场进行复试。

### 3.4.9 钢结构的组装应符合下列规定：

1 组装前，工作人员应熟悉构件施工图及有关的技术要求，并根据施工图要求复核其需组装零件质量；

2 由于原材料的尺寸不够，或技术要求需拼接的零件，宜在组装前拼接完成，拼接应符合下列规定：

1) 焊接 H 型钢的翼缘板拼接缝和腹板拼接缝的间距，不宜小于 200mm。翼缘板拼接长度不应小于 2 倍翼缘板宽度且不应小于 600mm；腹板拼接宽度不应小于 300mm，长度不应小于 600mm；

2) 箱型构件的侧板拼接长度不应小于 600mm，相邻两侧板拼接缝的间距不宜小于 200mm；侧板在宽度方向不宜拼接，当宽度超过 2400mm 确需拼接时，最小拼接宽度不宜小于板宽的 1/4；

3) 热轧型钢可采用直口全熔透焊接拼接，其拼接长度不应小于 2 倍截面高度且不应小于 600mm。需疲劳验算构件的拼装应符合设计要求；

4) 采用卷制方式加工成型的钢管接长时，相邻管节或管段的纵向焊缝应错开，沿弧长方向错开的最小距离不应小于钢管壁厚的 5 倍，且不应小于 200mm；

5) 成品钢管接长时每个节间宜为一个接头，当钢管直径  $d$  不大于 800mm 时，最短接长长度不应小于 600mm。当钢管直径  $d$  大于 800mm 时，最短接长长度不应小于 1000mm。

3 采用胎模装配时应符合下列规定：

1) 选择的场地应平整坚实；

2) 布置装配胎模时应根据其钢结构构件特点考虑预放焊接收缩量及其他各种加工余量；

3) 组装出首批构件后，应由质量检查部门进行全面检查，经检查合格后，方可进行继续组装；

4) 构件在组装过程中应严格按照工艺规定装配，当有隐蔽焊缝时，应先行施焊，并经检验合格后方可覆盖。当有复杂装配部件不易施焊时，也可采用边装配边施焊的方法来完成其装配工作；

5) 可采取先组装成部件，然后组装成构件的方法。

4 钢结构构件组装方法的选择，应根据构件的结构特性和技术要求，结合制作厂的加工能力、机械设备等情况，选择能有效控制组装的质量、生产效率高的方法进行。

5 宜根据构件类型选择结构组装工艺，组装工艺应符合下列规定：

1) 焊接 H 型构件组装工艺流程宜按图 3.4.9~1 的要求；

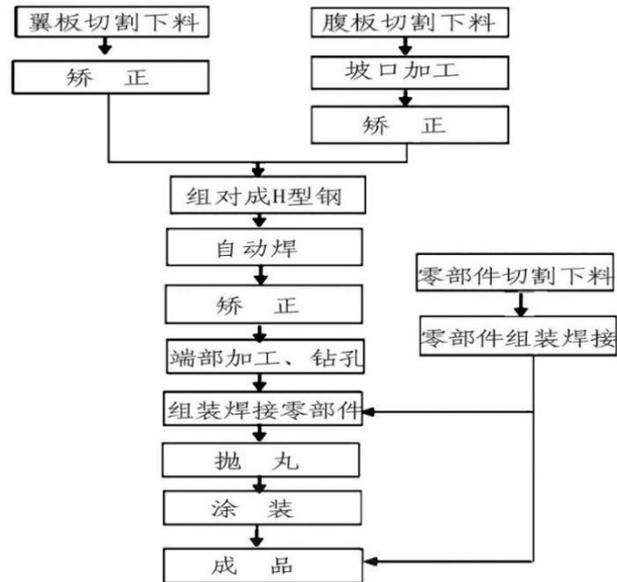


图 3.4.9-1 焊接 H 型构件组装工艺流程

2) 箱型截面构件组装工艺流程宜按图 3.4.9-2 的要求；

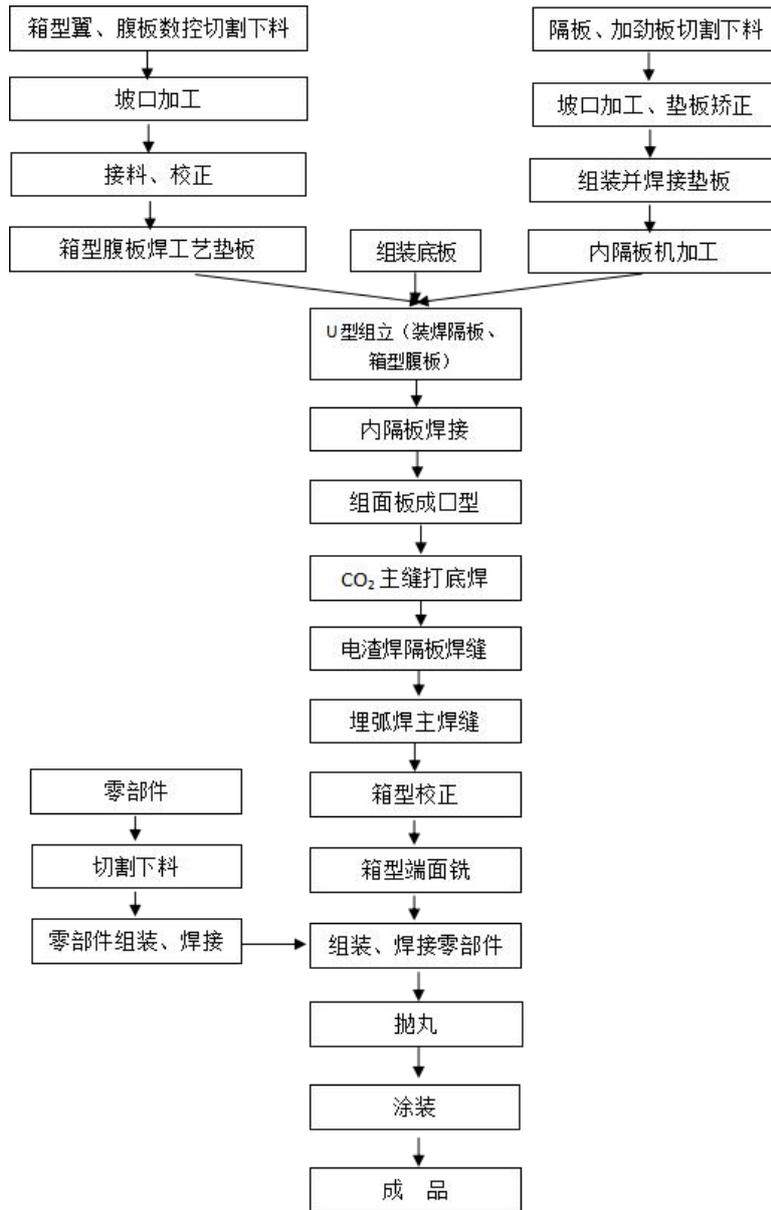


图 3.4.9-2 箱型构件组装工艺流程

3) 十字柱组装工艺流程宜按图 3.4.9-3 的要求。十字柱 T 型也可采用焊接 H 型剖分成 T 型，采用 H 型剖分成 T 型时不可一次切割成型，应分断切割留适当连接点，待割缝冷却后再切开连接处；

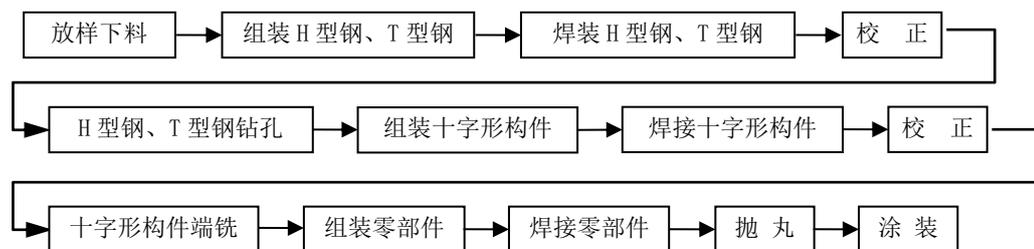


图 3.4.9-3 十字型构件组装工艺流程

4) 卷制钢管组装工艺流程宜按图 3.4.9-4 的要求。

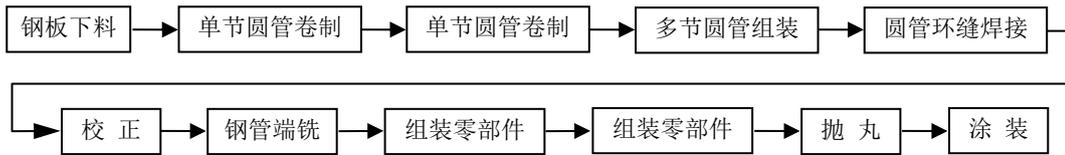


图 3.4.9-4 圆管构件组装工艺流程

#### 6 组装施工应符合下列规定：

1) 构件组装间隙应符合设计和工艺文件要求，当设计和工艺文件无规定时，组装间隙不宜大于 2.0mm；

2) 焊接构件组装时应预设焊接收缩量，并应对各部件进行合理的焊接收缩量分配。重要或复杂构件宜通过工艺性试验确定焊接收缩量；

3) 设计要求起拱的构件，应在组装时按规定的起拱值进行起拱，起拱允许偏差为起拱值的 0%~10%，且不应大于 10mm。设计未要求但施工工艺要求起拱的构件，起拱允许偏差不应大于起拱值的±10%，且不应大于±10mm；

4) 桁架结构组装时，杆件轴线交点偏移不应大于 3mm；

5) 拆除临时工装夹具、临时定位板、临时连接板等，不得用锤击落，应在距离构件表面 3mm~5mm 处采用火焰切割切除，对残留的焊疤应打磨平整，且不得损伤母材。

**3.4.10** 钢结构制作的焊接应符合本规程第 4 章~第 8 章的规定。

**3.4.11** 钢结构制作的预拼装应符合下列规定：

1 应按设计和技术文件要求进行预拼装；

2 主要受力构件、节点连接结构复杂、构件允许偏差接近极限且有代表性的构件宜进行预拼装；

3 预拼装应在坚实、稳固的平台式胎架上进行，并应符合下列规定：

1) 胎架面积小于 1000 m<sup>2</sup> 时支承点水平度不宜大于 2mm，胎架面积小于 5000 m<sup>2</sup> 时支承点水平度不宜大于 3mm；

2) 预拼装中所有构件应按施工图控制尺寸，单个构件支承点不论柱、梁、支撑，应不少于两个支承点；

3) 预拼装构件控制基准，中心线应明确标示，并与平台基线和地面基线相对一致。控制基准应按设计要求基准一致，如需变换预拼装基准位置，应得到工艺设计认可；

4) 所有需进行预拼装的构件，制作完毕应经专检员验收并符合质量标准的单个构件。相同构件宜能互换而不影响整体几何尺寸；

5) 在胎架上预拼装全过程中，不得对构件动用火焰或机械等方式进行修正、切割，或使用重物压载、冲撞、锤击；

6) 大型框架露天预拼装的检测时间，建议在日出前、日落后定时进行。所使用卷尺精度，

应与安装单位相一致。

4 高强度螺栓连接件预拼装时，可采用冲钉定位和安装螺栓紧固。安装螺栓在一组孔内不得少于螺栓孔的 1/3，且不少于 2 套。冲钉数不得多于安装螺栓数量的 30%；

5 预装后应用试孔器检查，当用比孔公称直径小 1.0mm 的试孔器检查时，每组孔的通过率不小于 85%，当用比螺栓公称直径大 0.3mm 的试孔器检查时，通过率为 100%，试孔器应垂直自由穿落；

6 检查不能通过的孔应进行修孔。修孔后如超规定，可采用与母材材质相匹配的焊材焊补后，重新制孔，但不得在预装胎架进行；

7 构件除可采用实体预拼装外，还可采用计算机辅助模拟预拼装方法，模拟构件或单元的外形尺寸应与实物几何尺寸相同。

#### 3.4.12 钢结构的网架制作应符合下列规定：

1 网架结构制作前应进行设计图纸交底，并根据设计文件、钢结构制作详图、国家标准以及制作单位的条件，编制制作工艺文件；

2 网架结构的杆件需对接时应具有可靠的质量保证措施，并应达到一级焊缝质量要求。每根杆件只允许有一个对接接头，接头距节点连接处的最短距离不得小于钢管直径，且不得小于 500mm。对接杆件总数不应超过杆件总数的 10%，且不得集中布置。

3 焊接空心球节点网架制作工艺应符合图 3.4.12-1 的要求；

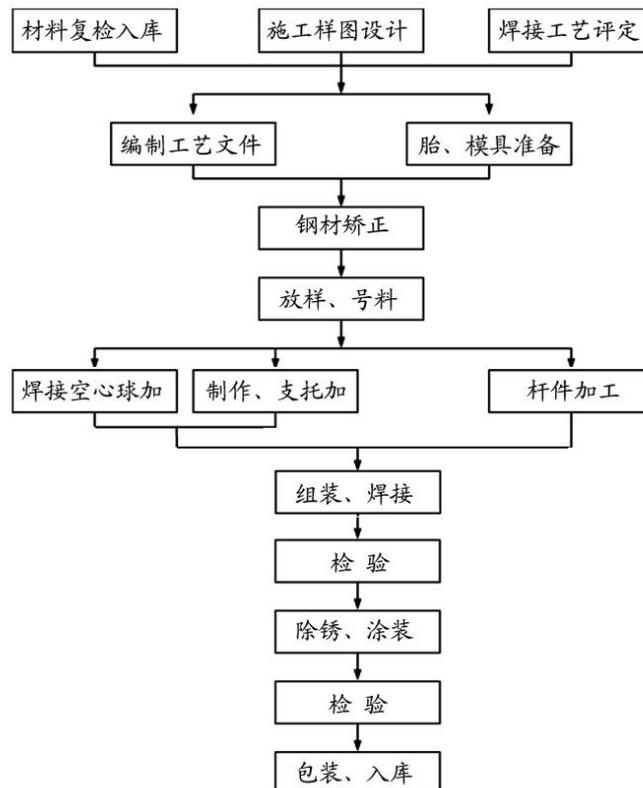


图 3.4.12-1 焊接空心球节点网架制作工艺流程图

4 螺栓球节点网架制作工艺应符合图 3.4.12-2 的要求。

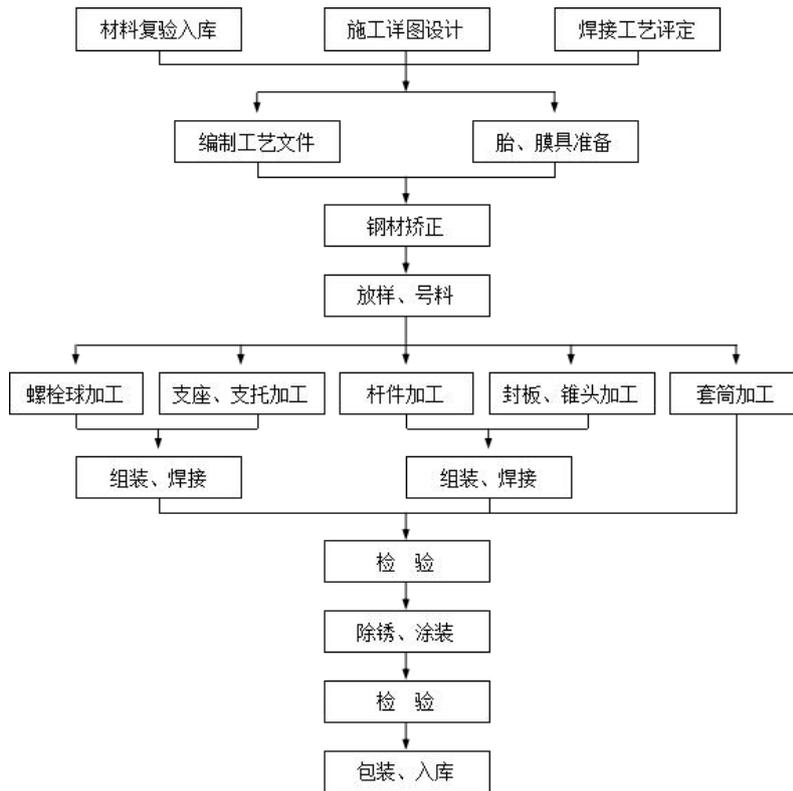


图 3.4.12-2 螺栓球节点网架制作工艺流程图

5 焊接空心球节点制作应符合下列规定：

1) 焊接空心球节点在杆件与焊接空心球焊缝连接处可设置衬管（图 3.4.12-3）；

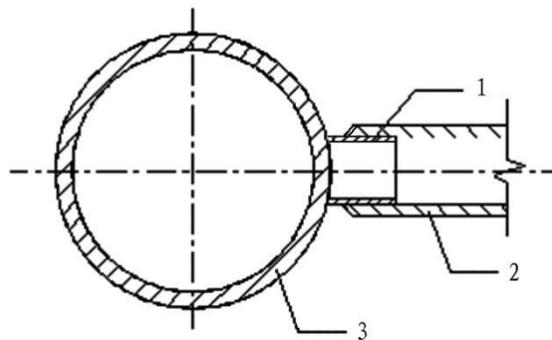


图 3.4.12-3 焊接空心球节点

1—衬管；2—杆件；3—焊接空心球

2) 焊接空心球可采用无肋焊接空心球（图 3.4.12-4）或加肋焊接空心球（图 3.4.12-5）；

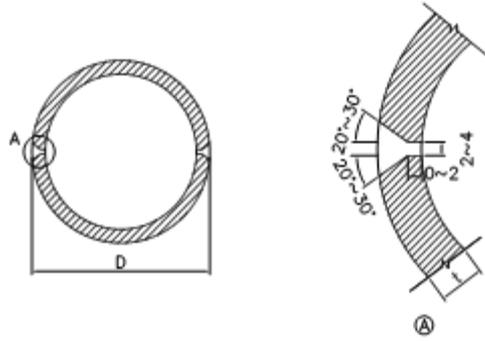


图 3.4.12-4 无肋焊接空心球

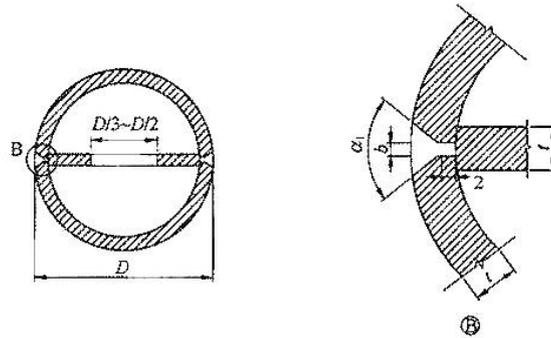


图 3.4.12-5 加肋焊接空心球

3) 焊接空心球制作工艺应符合图 3.4.12-6 的要求:

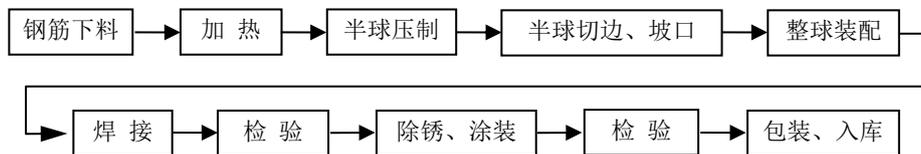


图 3.4.12-6 焊接空心球制作工艺

4) 焊接空心球的半球圆形坯料钢板宜采用半自动火焰切割机或数控切割机下料, 下料后的坯料直径允许偏差为+2.0mm;

5) 圆形坯料钢板宜在加热炉内加热, 碳素结构钢和低合金高强度结构钢加热温度应控制在  $1000^{\circ}\text{C} \sim 1100^{\circ}\text{C}$ 。温度的测量可采用红外测温仪, 也可采用观察炉内火焰的颜色与标准色卡比对来确定加热温度;

6) 加热后的圆形坯料钢板宜在液压机上采用模具压制成型, 成型后的表面应光滑平整, 不应有局部凸起或褶皱。对碳素结构钢和低合金高强度结构钢在温度分别下降到  $700^{\circ}\text{C}$  和  $800^{\circ}\text{C}$  之前, 应结束加工; 低合金高强度结构钢不得用水冷却;

7) 半圆球毛坯宜在专用车床上切边、坡口, 坡口尺寸应符合图 3.4.12-4 和图 3.4.12-5 的要求;

8) 加工后的半圆球应在专用胎架或设备上装配成整球, 并宜用转胎或专门的空心球焊机焊接成型。空心球的焊接可采用焊条电弧焊或  $\text{CO}_2$  气体保护焊。无肋焊接空心球应加垫板

焊接，加肋焊接空心球的肋板位置应在两个半球的拼接环形缝处；

9) 肋板宜采用半自动火焰切割机或数控切割机下料，外径应预留机加工余量，内孔可采用火焰切割成型，内孔孔径宜为  $1/3 \sim 1/2$  的焊接空心球外径。焊接空心球肋板的边缘可加工成平台或凸台，采用凸台时，高度不宜大于 1mm。加工后的肋板外径允许偏差为 -1mm；

10) 焊接空心球应进行承载力试验，试验方法及试验结果应符合现行行业标准《钢网架焊接空心球节点》JG/T 11 的规定。衬管宜采用与杆件规格相同的钢管经剖切加工后成型，也可直接采用相近规格的钢管。衬管长度宜为 30mm~50mm，外径宜比杆件内径小 1mm~2mm，壁厚不小于 3mm，衬管与焊接空心球焊接处宜开 30° 坡口；

11) 杆件与焊接空心球之间应有间隙，间隙可取 2mm~6mm。连接焊缝应为全熔透焊缝，并达到等强连接。杆件与焊接空心球的焊接宜在安装现场进行。

#### 6 螺栓球节点制作应符合下列规定：

1) 螺栓球节点（图 3.4.12-6）规格应符合现行行业标准《钢网架螺栓球节点》JG/T 10 的规定；

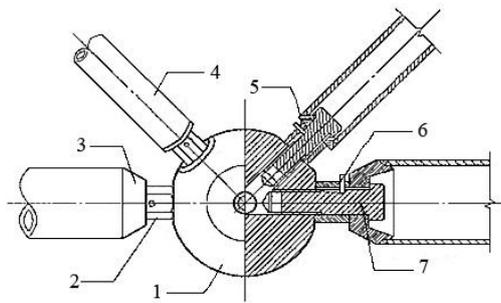


图 3.4.12-6 螺栓球节点

1—螺栓球；2—套筒；3—锥头；4—钢管；5—封板；6—紧固螺钉；7—高强螺栓

2) 螺栓球制作工艺应符合图 3.4.12-7 的要求；



图 3.4.12-7 螺栓球制作工艺

3) 螺栓球宜用圆钢加热后用空气锤和模具锻压而成，圆钢宜用锯床锯切下料。圆钢宜在加热炉内加热，加热温度宜为 1100℃~1200℃，并应控制终锻温度不得低于 800℃。温度的测量可采用红外测温仪，也可采用观察炉内火焰的颜色与标准色卡比对来确定加热温度；

4) 锻压成型后的毛坯球不应有褶皱和过烧，经打磨处理后的毛坯球不应有裂纹；

5) 螺栓球宜用专用车床或数控加工中心加工，应先加工工艺孔，然后加工各弦杆孔，最后加工各腹杆孔，螺栓孔的螺纹应采用专用丝锥攻丝；

6) 螺栓球加工完后应进行抗拉强度试验，试验方法和试验结果应符合现行行业标准《钢网架螺栓球节点》JG/T 10 的规定；

7) 紧固螺钉直径应符合设计要求，应进行淬火处理，硬度值应达到 HRC32~HRC37；

8) 锥头或封板与钢管焊接后形成螺栓球节点的杆件；当钢管直径  $d$  不小于  $\phi 76\text{mm}$  时，应采用锥头连接，当钢管直径  $d$  小于  $\phi 76\text{mm}$  时，宜采用封板连接。锥头制作工艺流程应符合图 3.4.12-8 的要求；

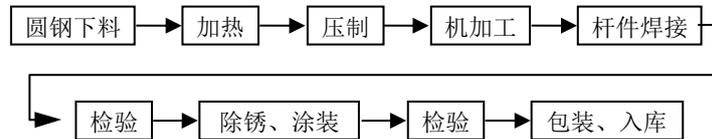


图 3.4.12-8 锥头制作工艺流程

9) 封板制作工艺流程应符合图 3.4.12-9 的要求；



图 3.4.12-9 封板制作工艺流程

10) 套筒可采用六角钢加工（图 3.4.12-10）或圆钢经加热后用液压机模压成型（图 3.4.12-11）。

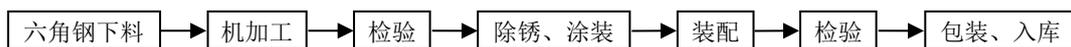


图 3.4.12-10 六角钢制作套筒制作工艺流程

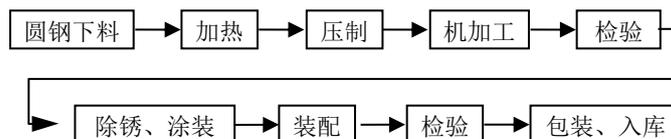


图 3.4.12-11 圆钢制作套筒制作工艺流程

7 支座和支托制作应符合下列规定：

1) 支座的制作工艺流程应符合图 3.4.12-12 的要求。支座的底板和筋板宜采用半自动火焰切割机或数控切割机下料，钢管宜采用管子车床下料、剖口。支座宜在专用胎具上组装、焊接；支座制作完成后与焊接空心球在专用胎具上组装、焊接；



图 3.4.12-12 支座制作工艺流程

2) 支托的制作工艺流程应符合图 3.4.12-13 的要求。支托的托板和筋板宜采用半自动火焰切割机或数控切割机下料，钢管宜采用管子车床下料、剖口。支托宜在专用胎具上组装、焊接；支托制作完成后与焊接空心球在专用胎具上组装、焊接。

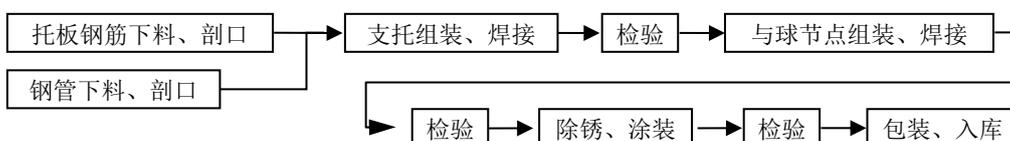


图 3.4.12-13 支托制作工艺流程

8 网架试拼装应符合下列规定：

1) 网架结构产品出厂前，重大、复杂工程宜进行试拼装，试拼装可采取单元试拼装、部分结构试拼装或整体结构试拼装；

2) 网架试拼装工艺流程宜符合图 3.4.12-14。试拼装时，杆件与球节点采用点焊固定，间隙应满足设计或有关标准要求。当试拼装结束拆除杆件时，宜采用砂轮磨光机打磨定位焊缝，应确保杆件两端口的坡口光滑，焊接空心球外表面无损伤。

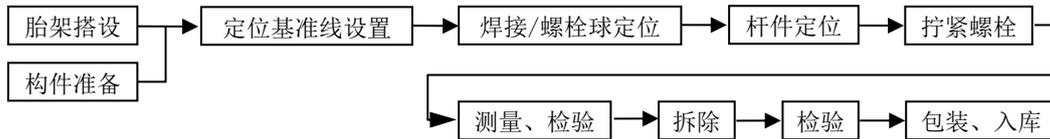


图 3.4.12-14 网架试拼装工艺流程

3.4.13 钢结构的管桁架制作应符合下列规定：

1 管桁架结构制作工艺流程宜符合图 3.4.13-1 的要求；

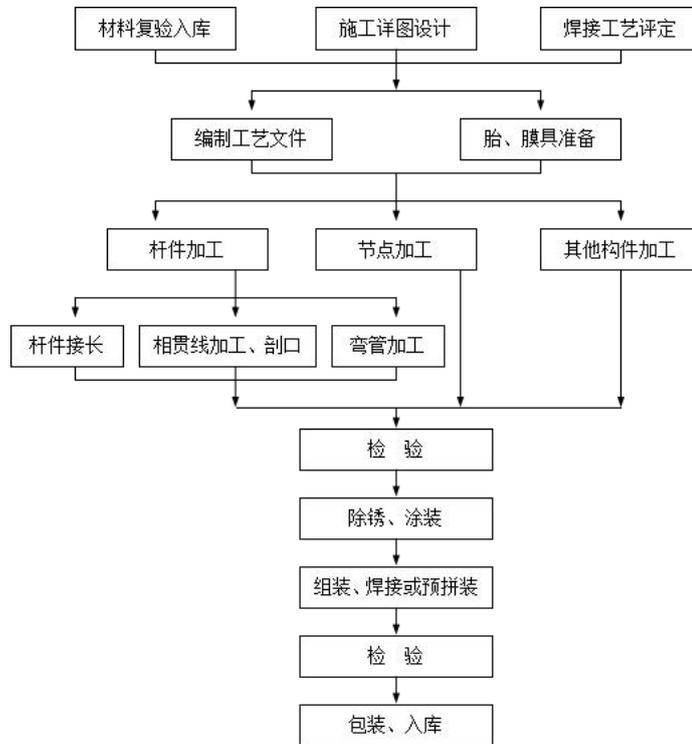


图 3.4.13-1 管桁架结构制作工艺流程

2 杆件相贯线加工制作工艺流程宜符合图 3.4.13-2 的要求；

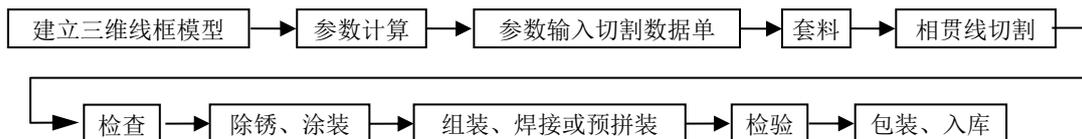


图 3.4.13-2 杆件相贯线加工制作工艺流程

3 钢管冷弯制作工艺流程宜符合图 3.4.13-3 的要求。碳素结构钢在环境温度低于-16℃、低合金高强度结构钢在环境温度低于-12℃时，不应进行冷弯曲；

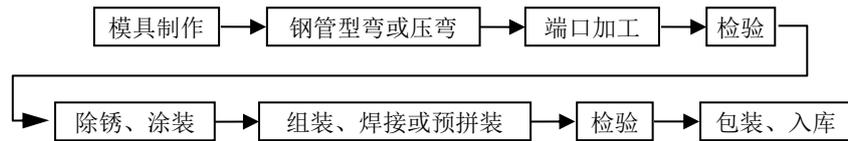


图 3.4.13-3 钢管冷弯制作工艺流程

4 钢管中频弯曲制作工艺流程宜符合图 3.4.13-4 的要求；

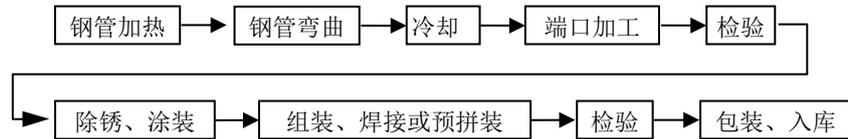


图 3.4.13-4 钢管中频弯曲制作工艺流程

5 钢管压制成型加工工艺流程宜符合图 3.4.13-5 的要求；

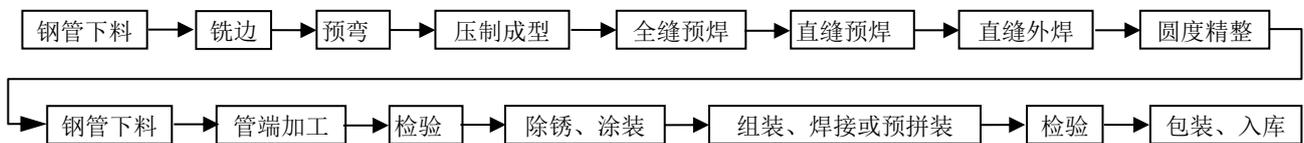


图 3.4.13-5 钢管压制成型加工工艺流程

6 管桁架结构组装及预拼装工艺流程宜符合图 3.4.13-6 的要求。管桁架结构的组装方法应根据组装场地条件、结构或构件型式、起重设备能力等确定，宜采用立装法或卧装法。

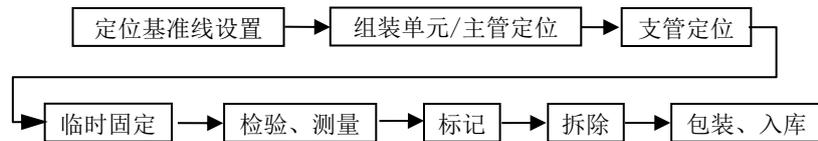


图 3.4.13-6 管桁架结构组装工艺流程

3.4.14 钢结构构件的包装应符合下列规定：

1 包装应根据产品的性能要求、结构形状、尺寸及重量、刚度和路程、运输方式及地区气候条件等具体情况进行。也应符合国家有关车、船运输法规规定；

2 产品包装应经产品检验合格，文件齐全，漆膜完全干燥方可进行；

3 产品包装应具有足够强度，保证产品能经受多次装卸、运输无损坏、变形、降低精度、锈蚀、残失，能安全可靠地运抵目的地。产品包装设计的结构尺寸，选用形式应科学合理，重量适宜，便于封装、开封、搬运、堆放，并要求经济美观；

4 包装材料包括木材、钢材、麻袋布、塑料薄膜、沥青纸、油毛毡、包装钢带、混凝土滑木等由包装设计人员选用；

5 带螺纹产品应对螺纹部涂上防锈剂，并加包裹，或用塑料套管护套。传力铰加工平面，法兰盘连接平面，销轴和销轴孔、管类端部内壁均应加以保护；

6 对特长、特宽、特重、特殊结构形状及高精度要求产品应做专用设计包装装置；

7 应具有大型包装的重心点、起吊位置、防雨防潮标记、工程项目号、供货号、货号、

品名、规格、数量、重量、生产厂号、体积、收发地点、单位、运输号码式等包装标志；

8 标志应正确、清晰、整齐、美观、色泽鲜明，不易退色剥落，宜用油漆与构件色泽不同，在规定部位进行手刷或喷刷。标志文字、图案规格大小，应视所包装构件而定；

9 包装应经检验合格方可发运出厂。包装清单应与实物相一致。

3.4.15 钢结构构件的包装和运输应符合下列规定：

1 运输构件应按收货地点及构件几何形状、重量确定运输形式；

2 应制订运输计划，根据钢结构的安装顺序分单元成套运输至工地；

3 市内运输，宜根据构件的长度、重量、形状选用车辆。分路运输过程中应采取有效措施，捆绑稳固，构件不发生变形，不损伤涂装；

4 特殊构件运输，应事先作路线踏勘，对沿途路面、桥梁、涵洞公共设施作有效防护、加固、避让；

5 应遵守国家对于水、陆路运输管理的各项规定、法则、法令。

### 3.5 质量标准

3.5.1 钢结构制作质量应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的规定。

3.5.2 采用样板号料时，号料与样板的允许偏差应符合表 3.5.2 的规定。

表 3.5.2 号料与样板的允许偏差

项目	允许偏差(mm)
外形尺寸	±1.0
孔距	±0.5
基准线	±0.5
对角线	1.0
角度	±10'

3.5.3 火焰切割的偏差应符合表 3.5.3 的规定。

表 3.5.3 火焰切割的允许偏差

项目	允许偏差 (mm)
零件长度、宽度	±3.0
切割面平面 (垂直面)	0.05t 且不大于 2.0
割纹深度	0.3
局部缺口深度	1.0

注：t 为钢板厚度

3.5.4 机械加工的允许偏差应符合表 3.5.4 的规定。

表 3.5.4 边缘加工的允许偏差

项 目	允许偏差
-----	------

零件宽度、长度	$\pm 1.0\text{mm}$
加工边直线度	$L/3000$ , 且不应大于 $2.0\text{mm}$
相邻两边夹角	$\pm 6'$
加工面垂直度	$0.025t$ , 且不应大于 $0.5\text{mm}$
加工面表面粗糙度 Ra	$\leq 50\mu\text{m}$

注:  $t$  为钢板厚度,  $L$  为加工边长度

**3.5.5** 高强度螺栓和普通螺栓孔的直径及允许偏差应符合表 3.5.5-1 的规定。螺栓孔孔距的允许偏差应符合表 3.5.5-2 的规定。

表 3.5.5-1 C 级螺栓孔允许偏差 (mm)

螺栓公称直径	12	16	20	22	24	27	30
螺栓孔直径	13.5	17.5	22	(24)	26	(30)	33
螺栓孔直径允许偏差	0~0.43		0~0.52		0~0.84		
圆度 (最大和最小直径差)	1.0			1.5			

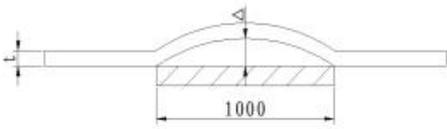
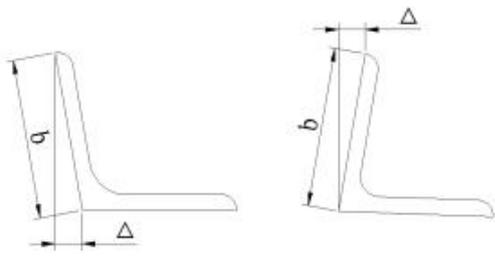
注: 螺孔中心线斜度应不大于板厚的 3%, 且单层板不大于  $2.0\text{mm}$ , 多层板组合不大于  $3.0\text{mm}$ 。

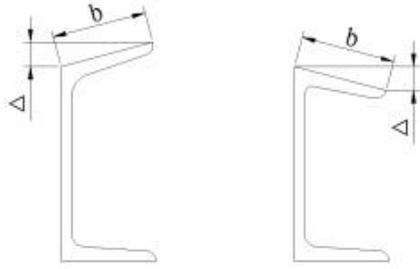
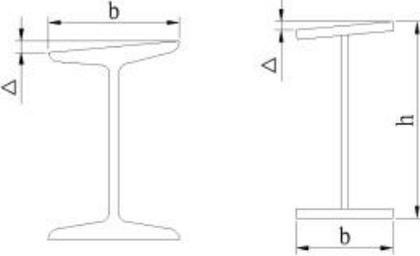
表 3.5.5-2 螺栓孔孔距允许偏差 (mm)

螺栓孔孔距范围	$\leq 500$	501~1200	1201~3000	$> 3000$
同一组内任意两孔间距离	$\pm 1.0$	$\pm 1.5$	—	—
相邻两组的端孔间距离	$\pm 1.5$	$\pm 2.0$	$\pm 2.5$	$\pm 3.0$

**3.5.6** 钢材校正后的允许偏差应符合表 3.5.6 的规定。

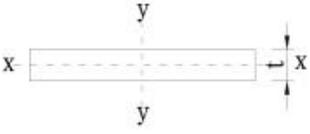
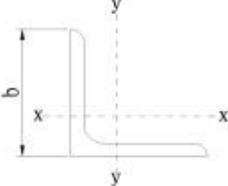
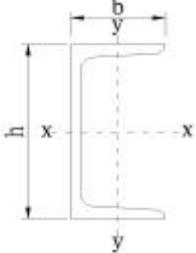
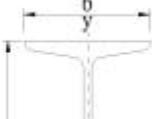
表 3.5.6 钢材校正后的允许偏差

项 目	允许偏差 (mm)	图 例	
钢板的局部平面度	$t \leq 6$	3	
	$6 < t \leq 14$	1.5	
	$t > 14$	1.0	
型钢弯曲矢高	$1/1000$ 且不应大于 5.0		
角钢肢的垂直度	$b/100$ 双肢栓接角钢的角度不得大于 $90^\circ$		

槽钢翼缘对腹板的垂直度	b/80	
工字钢、H型钢翼缘对腹板的垂直度	b/100 且不大于 2.0	

**3.5.7** 钢材、型钢冷矫正的最小曲率半径和最大弯曲矢高应符合表 3.5.7-1 的规定。钢材和型材的冷弯成型最小曲率半径应符合表 3.5.7-2 的规定。钢管弯曲成型和矫正后的允许偏差应符合表 3.5.7-3 的规定。钢板压制或卷制后，应采用样板检查弧度，样板与管内壁的间隙应符合表 3.5.7-4 的规定。

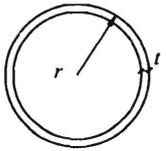
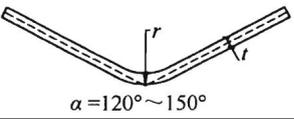
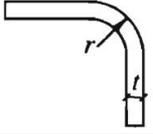
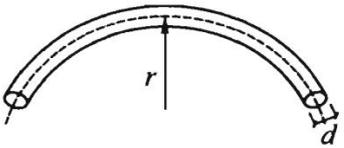
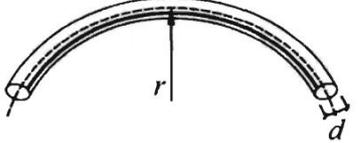
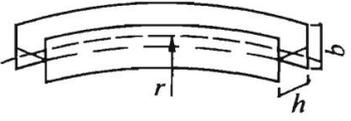
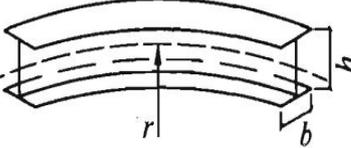
表 3.5.7-1 冷矫正的最小曲率半径和最大弯曲矢高 (mm)

钢材类别	图例	对应轴	矫正	
			$r$	$f$
钢板扁钢		$x-x$	$50t$	$l^2/400t$
		$y-y$ (仅对扁钢轴线)	$100b$	$l^2/800b$
角钢		$x-x$	$90b$	$l^2/720b$
槽钢		$x-x$	$50h$	$l^2/400h$
		$y-y$	$90b$	$l^2/720b$
工字钢		$x-x$	$50h$	$l^2/400h$

		$y-y$	$50b$	$l^2/400b$
--	--	-------	-------	------------

注： $r$ 为曲率半径， $f$ 为弯曲矢高， $l$ 为弯曲弦长， $t$ 为钢板厚度。

表 3.5.7-2 冷弯成型加工的最小曲率半径

钢材类别	图 例		冷弯最小曲率半径 $r$		备注
热轧钢板	钢板卷压成钢管		碳素结构钢	$15t$	—
			低合金结构钢	$20t$	
	平板弯成 $120^\circ \sim 150^\circ$		碳素结构钢	$10t$	
			低合金结构钢	$12t$	
	矩形管弯直角		碳素结构钢	$3t$	
			低合金结构钢	$4t$	
热轧无缝钢管			碳素结构钢	$20d$	—
			低合金结构钢	$25d$	
冷成型直缝钢管			碳素结构钢	$25d$	焊缝放在中心线以内受压区
			低合金结构钢	$30d$	
冷成型方管			碳素结构钢	$30h$ ( $b$ )	焊缝放在弯弧中心线位置
			低合金结构钢	$35h$ ( $b$ )	
热轧 H 型钢		碳素结构钢	$25h$	也适用于工字钢和槽钢对高度弯曲	
		低合金结构钢	$30h$		
		碳素结构钢	$20b$		
		低合金结构钢	$25b$		

槽钢、角钢		碳素结构钢	25b	—
		低合金结构钢	30b	

表 3.5.7-3 钢管弯曲成型和矫正后的允许偏差 (mm)

项目	允许偏差	检查方法	图例
直径	$\pm d/200$ , 且 $\leq \pm 3.0$	卡尺	
钢管、箱型杆件侧弯	$l < 4000, \Delta \leq 2.0$ $4000 \leq l < 16000, \Delta \leq 3.0$ $l \geq 16000, \Delta \leq 5.0$	用拉线和钢尺检查	
椭圆度	$f \leq d/200$ , 且 $\leq 3.0$	用卡尺和游标卡尺检查	
曲率 (弧长 > 1500)	$\Delta \leq 2.0$	用样板 (弦长 $\geq 1500$ ) 检查	

表 3.5.7-4 样板与管内壁的允许间隙

序号	钢管直径 d (mm)	样板弦长 (mm)	样板与管内壁的允许间隙 (mm)
1	$d \leq 1000$	$d/2$ 且不小于 500	1.0
2	$1000 < d \leq 2000$	$d/4$ 且不小于 1500	1.5

3.5.8 焊接 H 型钢组装尺寸的允许偏差应符合表 3.5.8-1 的规定，焊接连接组装尺寸的允许偏差应符合表 3.5.8-2 的规定。

表 3.5.8-1 焊接 H 型钢外形尺寸允许偏差 (mm)

项目		允许偏差	图例
截面高度	$h < 500$	$\pm 2.0$	
	$500 \leq h \leq 1000$	$\pm 3.0$	
	$h > 1000$	$\pm 4.0$	
截面宽度 b		$\pm 3.0$	
腹板中心偏移 e		2.0	

翼缘板垂直度 $\Delta$		$b/100$ , 且不应大于 3.0	
弯曲矢高		$l/1000$ , 且不应大于 10.0	
扭 曲		$h/250$ , 且不应大于 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	

表 3.5.8-2 焊接连接组装尺寸的允许偏差 (mm)

项 目	允许偏差	图例	
对口错边间隙 $\Delta$	$t/10$ , 且不大于 3.0		
间隙 $a$	1.0		
搭接长度 $a$	$\pm 5.0$		
缝隙 $\Delta$	1.5		
高度 $h$	$\pm 2.0$		
垂直度 $\Delta$	$b/100$ , 且不大于 3.0		
中心偏移 $e$	2.0		
型钢错位 $\Delta$	连接处	1.0	
	其他	2.0	
箱型截面高度 $h$	$\pm 2.0$		

宽度 $b$	$\pm 2.0$	
垂直度 $\Delta$	$b/100$ , 且不大于 3.0	

3.5.9 端部铣平面的允许偏差应符合表 3.5.9 的规定。

表 3.5.9 端部铣平的允许偏差和检查方法

项 目	允许偏差
两端铣平时构件长度	$\pm 2.0\text{mm}$
两端铣平时零件长度	$\pm 0.50\text{mm}$
铣平面平面度	0.30mm
铣平面的倾斜度（正切值）	不大于 1/1500, 且不大于 0.50mm

3.5.10 钢构件预拼装的允许偏差应符合表 3.5.10 的规定。

表 3.5.10 钢结构预拼装允许偏差

项次	构件类型	项 目	允许偏差 (mm)	
1	多节柱	预拼装单元总长	$\pm 5.0$	
2		预拼装单元弯曲矢高	$L/1500$ , 且不应大于 10.0	
3		接口错边	2.0	
4		预拼装单元柱身扭曲	$H/200$ , 且不应大于 5.0	
		铣平顶紧面至连接节点的距离	至第一安装孔 至任一牛腿	$\pm 1.0$ $\pm 2.0$
5	梁、桁架	跨度最外两端安装孔或两端支承面最外侧距离	$L/1500$ , $\pm 5.0$	
6		接口截面错位	2.0	
7		拱度	设计要求起拱 设计未要求起拱	$\pm L/5000$ $L/2000$
		节点处杆件轴线错位	4.0	
8	管状、壳体构件	壳体中心对预拼装平台检查中心的距离	$H/1000$ , 且不应大于 8.0	
9		圆形壳体的最大直径与最小直径之差	$D/500$ $\leq 8.0$	
10		预拼装单元总长	$\pm 5.0$	
		矩形壳体对角线长度之差	$\leq 5.0$	
11		预拼装单元弯曲矢高	$L/1500$ , 且不应大于 10.0	
12		壳体上口水平度	$D/500$ , 且不应大于 5.0	
13		对口错边	$T/10$ , 且不应大于 3.0	
14	构件平面总体预拼装	坡口间隙	+2.0 -1.0	
		各楼层柱距	$\pm 4.0$	
		相邻楼层梁与梁之间距离	$\pm 3.0$	
		各层间框架两对角线之差	$H/2000$ , 且不应大于 5.0	
17		任意两对角线之差	$\sum H/2000$ , 且不应大于 8.0	

注：1、 $L$  为构件纵向长度；2、 $H$  为构件断面高度；3、 $T$  为管构件壁厚。

### 3.6 成品保护

- 3.6.1** 在制作过程中的各工序间都要有成品保护措施,上道工序移交给下道工序应符合有关标准和设计要求。
- 3.6.2** 边缘加工的坡口,需要涂保护膜的应涂好,并注意不应碰撞。
- 3.6.3** 矫正和成型零件、组装好的半成品堆放时垫点和堆放数量应合理,防止变形。
- 3.6.4** 经处理的摩擦面应采取防油污和损伤保护措施。
- 3.6.5** 已涂装防腐漆的零部件、半成品和组装件,应防止磕碰,如有磕碰,应及时修复。

### 3.7 注意事项

**3.7.1** 技术质量应符合下列规定:

- 1 当对钢材有疑义时,应按设计要求和现行国家标准规定抽样复验,试验结果达到现行国家产品标准的规定和技术文件的要求时方可采用;
- 2 用火焰矫正时,对低合金钢材的焊件不准浇水冷却,应在自然状态下冷却;
- 3 高强度螺栓孔径及孔距应符合标准要求;
- 4 处理后的摩擦面应妥善保护,摩擦面不得重复使用。

**3.7.2** 安全措施应符合下列规定:

- 1 执行各工种的安全操作规程;
- 2 用电设备采取漏电保护措施;
- 3 起重设备站位处地基承载力要满足动静载要求,起重机不得超载吊装;
- 4 各工种操作时应佩戴好劳动保护用品。

**3.7.3** 职业健康应符合下列规定:

- 1 提高员工职业安全健康意识的培训;
- 2 持续改进职业安全健康绩效和事故预防、保护员工安全健康;
- 3 定期进行职工身体检查。

**3.7.4** 环境保护应符合下列规定:

- 1 车间内应建立环境保护、环境卫生管理和检查制度,并做好检查记录;
- 2 工作期间应控制噪声,合理安排工作时间,减少对周边环境的影响;
- 3 焊接、切割产生的烟尘应有收集装置,夜间照明灯光应向厂内照射;
- 4 使用平面钻等设备时,应采用循环水,不得污水未经处理直接往外排放;
- 5 制成品件喷漆时应在喷漆房内进行,室内设置木炭等有吸附功能的装置,不得往大

气中直接排放。

## 4 焊条电弧焊

### 4.1 材料要求

**4.1.1** 焊接材料应按施工图的要求选用，其性能和质量应符合国家标准和行业标准的规定，并应具有质量证明书或检验报告。焊接材料代换时必须经设计单位同意，并应由设计单位签发材料代换通知单。因某些材料的代换可能影响到构件的性能、制作和焊接工艺的改变，代换后的焊接材料应做相应的试验，根据试验结果调整焊接工艺。

**4.1.2** 焊条选用应符合下列规定：

1 焊缝金属的性能应符合设计要求，焊缝金属的力学性能，包括抗拉强度、塑性和冲击韧性不应低于母材金属标准规定的性能指标的下限值；

2 结构钢焊条的选择应符合下列规定：

1) 应根据母材的抗拉强度按照“等强”原则选择强度相匹配的焊条；

2) 不同材质的母材宜选用与屈服强度低的母材相匹配的焊条；

3) 易裂的母材或强度、塑性、韧性要求高的重要结构应选用塑性韧性好、含氢量低及抗裂性能好的碱性焊条；

4) 管道焊接、立向下焊接、底层焊缝、盖面焊缝等应选用管道焊接专用焊条、立向下焊条、底层焊条和盖面焊条等；

5) 应选用碱性焊条而无直流焊接电源时可选用低氢钾型焊条；

6) 大型结构可选用熔敷速度较高的铁粉焊条。

3 铸铁焊条应根据铸铁种类、工件的使用要求和加工要求等进行选择；

4 宜根据板厚选择减小焊接变形、节省焊条的焊件坡口形式，并应符合现行国家标准《气焊、焊条电弧焊、气体保护焊和高能束焊的推荐坡口》GB/T 985.1 的规定；

5 不同板厚的钢板对接接头的两板厚度差不超过表 4.1.2 规定时，焊缝坡口的基本形式与尺寸可按较厚板的尺寸数据进行选择；否则应在厚板上进行消薄处理（图 4.1.2），削薄长度  $L$  不应小于  $3(\delta - \delta_1)$ ；

表 4.1.2 不同板厚钢板焊接允许厚度差

较薄板厚度 $\delta_1$ (mm)	2~5	5~9	9~12	>12
允许厚度差 $(\delta - \delta_1)$ (mm)	1	2	3	4

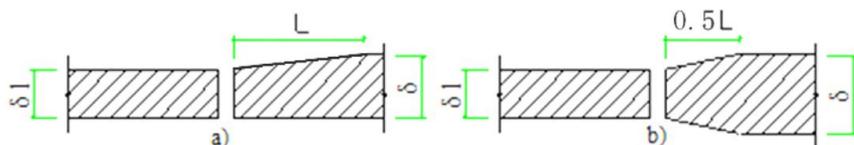


图 4.1.2 厚板消薄处理

a 单面削薄；b 双面削薄

## 4.2 主要机具

4.2.1 焊条电弧焊焊接用机械设备宜根据表 4.2.1 的要求配备。

表 4.2.1 焊接用机械设备

设备名称	设备型号	数量	单位	备注
空气压缩机	根据工程实际情况确定	根据工程实际情况确定	台	碳弧气刨用
柴油发电机			台	应急使用
直流焊机			台	结构焊接
交流焊机			台	结构焊接
焊条烘干箱			台	烘干焊条
翼缘矫正机			台	型钢校正

4.2.2 焊条电弧焊工厂加工检验设备、仪器、工具宜根据表 4.2.2 的要求配备。

表 4.2.2 工厂加工检验设备、仪器、工具

设备名称	设备型号	数量	单位	备注
超声波探伤仪	根据工程实际情况确定	根据工程实际情况确定	台	检查焊缝内部缺陷
温度计			台	测量层间温度
电流表			个	测量焊接电流
温湿度仪			个	测量空气湿度
焊缝检验尺			把	检验焊缝外观尺寸
磁粉探伤仪			台	测量焊缝内部缺陷尺寸
游标卡尺			把	测量焊缝外观尺寸
钢卷尺			把	测量

## 4.3 作业条件

4.3.1 焊接区应保持干燥、不得有油、锈、水、氧化皮和其它污物。

4.3.2 焊条在使用前应按产品说明书规定的烘焙时间和烘焙温度进行烘焙。低氢型焊条烘干后应存放在保温箱（筒）内，随用随取。焊条由保温箱（筒）取出到施焊的时间不宜超过 2h，酸性焊条不宜超过 4h。不符上述要求时，应重新烘干后再用，但焊条烘干次数不宜超过 2 次，III类、IV类钢不应超过 1 次。

4.3.3 焊工应经考试合格并取得合格证书。持证焊工应在其考试合格项目及其认可范围内施焊。

## 4.4 施工工艺

4.4.1 焊条电弧焊施工工艺流程应符合图 4.4.1 的要求。

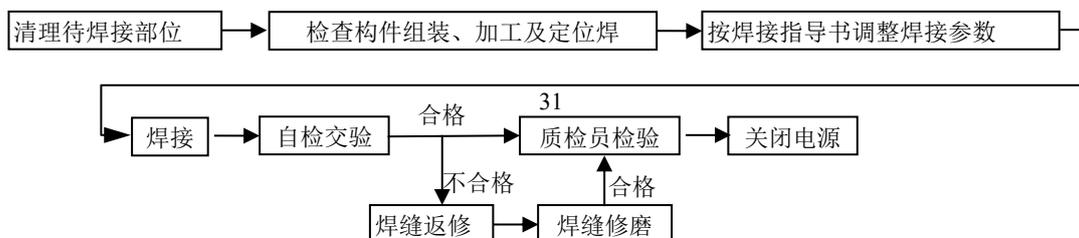


图 4.4.1 焊条电弧焊工艺流程

**4.4.2** 焊接参数应符合设计要求，并应符合下列规定：

1 焊条直径宜根据焊件厚度按表 4.4.2-1 进行选择。多层焊的第一层以及非水平位置焊接时，焊条直径应选小值；

表 4.4.2-1 焊条直径选择

焊件厚度(mm)	<2	2	3	4~6	6~12	>12
焊条直径(mm)	1.6	2	3.2	3.2~4	4~5	4~6

2 焊接电流应根据焊条直径按表 4.4.2-2 选择或按公式 4.2.2 进行估算；

表 4.4.2-2 焊接电流选择

焊条直径(mm)	1.6	2.0	2.5	3.2	4.0	5.0	6.0
焊接电流(A)	25~40	40~60	50~80	100~130	160~210	200~270	260~300

$$I = (30 \sim 55)d \quad (4.4.2)$$

式中：d—焊条直径，mm；

I—焊接电流，A；

3 打底焊时，或焊接单面焊双面成形焊道时，焊接电流宜使用较小值；盖面焊时焊接电流宜使用较小值，立、仰、横焊电流应比平焊小 10%左右，填充焊时焊接电流宜使用较大值；焊角焊缝时，电流宜选用较大值；

4 碱性焊条选用的焊接电流宜比酸性焊条小 10%左右。不锈钢焊条宜比碳钢焊条选用电流小 20%左右；

5 焊接电流初步选定后，应通过试焊调整；

6 在焊接过程中宜使用短弧焊接，并宜保持弧长一致；

7 焊条电弧焊的焊接工艺参数应根据设计确定，应在保证焊接质量条件下，采用大直径焊条和大电流焊；

8 性能要求高的焊缝与接头，每层焊缝厚度不宜大于 4mm；

9 坡口底层焊道宜采用不大于  $\Phi 4.0\text{mm}$  的焊条，底层根部焊道的最小尺寸应适宜，不应产生裂纹；

10 在承受动载荷情况下，焊接接头的焊缝余高 h 应趋于零，在其它工作条件下，h 值可在 0mm~3mm 范围内选取；

11 焊缝在焊接接头每边的覆盖宽度不应超过 2mm~4mm。

**4.4.3** 施焊前焊工应复核焊接件的接头质量和焊接区域的坡口、间隙、钝边等的处理情况。当发现有不符合要求时，应修整合格后方可施焊。焊接区应保持干燥、不得有油、锈和其它污物。

**4.4.4** T型接头、十字接头、角接头和对接接头主焊缝两端，应配置引弧板和熄弧板，其材质和坡口形式应与焊件相同。引弧和熄弧焊缝长度应大于或等于 25mm。引弧和熄弧板长度应大于或等于 60mm，宽度宜为板厚的 1.5 倍且不小于 30mm，厚度宜不小于 6mm。引弧和熄弧板应采用气割的方法切除，并修磨平整，不得用锤击落。

**4.4.5** 焊接时不得使用药皮脱落或焊芯生锈的焊条。焊条在使用前应按产品说明书规定的烘焙时间和烘焙温度进行烘焙。

**4.4.6** 焊接时不应在焊缝以外的母材上打火引弧。

**4.4.7** 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钢板厚度且不小于 100mm 范围内的母材加热到 20℃ 以上方可施焊，且在焊接过程中均不应低于这个温度。

**4.4.8** 定位焊采用的焊材型号应与焊件材质相匹配。定位焊应由持有相应合格证的焊工施焊，定位焊焊缝应符合下列规定：

1 定位焊焊脚尺寸不宜超过设计焊缝厚度的 2/3，且不应大于 6mm。长焊缝焊接时定位焊缝长度不宜小于 40mm，焊缝间距宜为 500mm~600mm，并应填满弧坑；

2 定位焊的位置应布置在焊道以内。当有焊缝交叉时，定位焊缝离交叉处不应小于 50mm；

3 定位焊缝的余高不应过高，定位焊缝的两端应与母材平缓过渡；

4 定位焊缝不得有裂纹、夹渣、焊瘤等缺陷。焊前应清除焊接区的有害物；当定位焊焊缝上有气孔或裂纹时，应清除后重新进行定位焊。在定位焊之后，如出现接口不平齐，应进行校正，然后才能正式焊接；

5 定位焊预热温度应高于正式焊接温度。

**4.4.9** 非密闭的隐蔽部位应按施工图的要求进行涂层处理后，方可进行组装；对刨平顶紧的部位，应经质量部门检验合格后才能施焊。

**4.4.10** 多层焊的施焊应符合下列规定：

1 厚板多层焊时应连续施焊，每一焊道焊接完成后应及时清理焊渣及表面飞溅物，发现影响焊接质量的缺陷时，应清除后方可再焊。在连续焊接过程中应控制焊接区母材温度，使层间温度上、下限符合工艺文件要求。遇有中断施焊的情况，应采取适当的后热、保温措施，再次焊接时重新预热温度应高于初始预热温度；

2 坡口底层焊道采用焊条直径应不大于  $\Phi 4\text{mm}$ ，焊条底层根部焊道的最小尺寸应适宜，但最大厚度不应超过 6mm。

**4.4.11** 在组装好的构件上施焊，应按焊接工艺规定的参数以及焊接顺序进行，控制焊后构件变形应符合下列规定：

1 可采取反变形措施控制焊接变形，反变形量宜符合表 4.4.11-1 的规定。焊接收缩量宜符合表 4.4.11-2 的规定；

2 在约束焊道上施焊宜连续进行；如因故中断，再焊时应对已焊的焊缝局部进行预热处理；

3 采用多层焊时应将前一道焊缝表面清理干净后再继续施焊。

表 4.4.11-1 焊接反变形参考数值

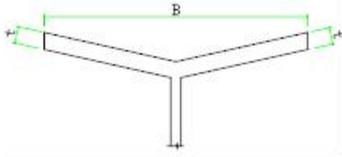
板厚 t(mm)	f(mm) $(\alpha+2)/2$ 反变形角度 (平均值)	B(mm)											
		150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700
													
12	1°30'40"	2	2.5	3	4	4.5	5						
14	1°22'40"	2	2.5	3	3.5	4	5	5.5					
16	1°4'	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4	4.5	5	5		
20	1°	1	2	2	2.5	3	3.5	4	4.5	4.5	5	5	
25	55'	1	1.5	2	2.5	3	3	3.5	4	4	4.5	5	5
28	34'20"	1	1	1	1.5	2	2	2	2.5	2.5	3	3.5	3.5
30	27'20"	0.5	1	1	1	1.5	1.5	2	2	2	2.5	2.5	3
36	17'20"	0.5	0.5	0.5	1	1	1	1	1.5	1.5	1.5	1.5	2
40	11'20"	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1	1	1	1	1	1

表 4.4.11-2 焊接收缩量

结构类型	焊件特征和板厚	焊缝收缩量(mm)
钢板对接	各种板厚	长度方向每米焊缝 0.7； 宽度方向每个接口 1.0
实腹结构及焊接 H 型钢	断面高小于等于 1000mm 且板厚小于 25mm	四条纵焊缝每米共缩 0.6，焊透梁高收缩 1.0， 每对加劲焊缝，梁的长度收缩 0.3
	断面高小于等于 1000mm 且板厚大于 25mm	四条纵焊缝每米共缩 1.4，焊透梁高收缩 1.0， 每对加劲焊缝，梁的长度收缩 0.7
	断面高大于 1000mm 的各种板厚	四条纵焊缝每米共缩 0.2，焊透梁高收缩 1.0， 每对加劲焊缝，梁的长度收缩 0.5
格构式结构	屋架、托架、支架等轻型桁架	接头焊缝每个接口为 1.0； 搭接贴角焊缝每米 0.5
	实腹柱及重型桁架	搭接贴角焊缝每米 0.25
圆筒型结构	板厚小于等于 16mm	直焊缝每个接口周长收缩 1.0；

		环焊缝每个接口周长收缩 1.0
	板厚大于 16mm	直焊缝每个接口周长收缩 2.0; 环焊缝每个接口周长收缩 2.0

**4.4.12** 因焊接而变形的构件可采用机械或在严格控制温度的条件下加热的方法进行矫正，矫正应符合下列规定：

- 1 普通低合金结构钢冷矫时，工作地点温度不得低于-16℃；热矫时，其温度值应控制在 750℃~900℃之间；
- 2 普通碳素结构钢冷矫时，工作地点温度不得低于-20℃；热矫时，其温度值不得超过 900℃；
- 3 同一部位加热矫正不得超过 2 次，并应缓慢冷却，不得用水骤冷。

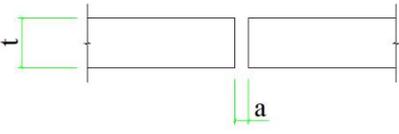
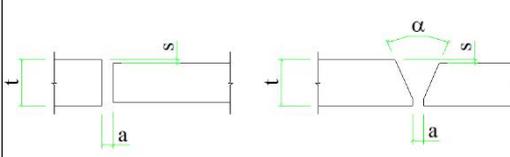
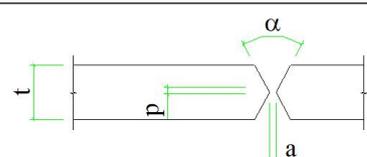
## 4.5 质量标准

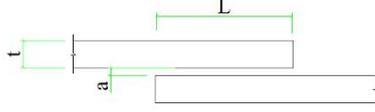
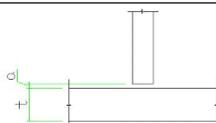
**4.5.1** 焊接质量应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205、《钢结构焊接规范》GB 50661 的规定。

**4.5.2** 一级、二级焊缝应进行探伤检验，并应符合设计及验收标准的规定。

**4.5.3** 施焊前，焊工应复核焊接件的接头质量和焊接区域的坡口、间隙、钝边等的处理情况。当发现有不符合要求时，应修整合格后方可施焊。焊接连接组装允许偏差值应符合表 4.5.3 的规定。

表 4.5.3 焊接连接组装允许偏差值

项目		允许偏差 (mm)	连接示意
对接间隙 a		±0.1	
边缘高差	4<t≤8	1.0	
	8<t≤20	2.0	
	20<t≤40	t/10 但不大于 3.0	
	t>40	t/10 但不大于 4.0	
坡口	坡口角度α	±5°	
	钝边 p	±1.0	

搭接	长度 L 间隙 a	$\pm 5.0$ 1.0	
顶接间隙 a		1.0	

## 4.6 成品保护

4.6.1 构件焊接后的变形，应进行成品矫正，成品矫正宜采用热矫正，加热温度不宜大于 650℃，构件矫正应符合表 4.6.1 中的规定。

表 4.6.1 构件矫正要求

项 目	允许偏差
柱底板平面度	5.0mm
桁架、腹杆弯曲	1/1500且不大于5mm，梁不准下挠
桁架、腹杆扭曲	$H/250$ 且不大于5.0mm
牛腿翘曲	当牛腿长度 $\leq 1000$ 时为2mm
	当牛腿长度 $> 1000$ 时为3mm

注：H 为杆件长度或桁架等的高度、长度

4.6.2 凡构件上的焊瘤、飞溅、毛刺、焊疤等均应清除干净。要求磨平的焊缝应将焊缝余高磨平。

4.6.3 零、部件采用机械矫正法进行矫正的宜采用压力机进行。

4.6.4 构件标识一般在翼缘端头 500mm 范围内打钢印号，标识应清晰、明显。对不宜打钢印号的构件，可挂牌标识。

4.6.5 钢构件制作完成后，应按照施工图的规定及现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 进行验收。

4.6.6 钢构件在工厂内制作完毕后应进行验收。验收合格者方可进行包装，安排运输到现场。包装应保护构件不受损伤，零件不变形，不损坏，不散失，验收应填写记录报告。

4.6.7 现场安装用的连接零件，应分号捆扎出厂发运。

4.6.8 运输宜由钢结构加工厂直接运输到现场，并应根据现场总调度的安排，按照吊装顺序一次运输到安装使用位置，减少二次倒运。

4.6.9 超长、超宽构件应安排在夜间运输，并应在运输车前后设引路车和护卫车。

## 4.7 注意事项

4.7.1 技术质量的控制应包括焊接材料质量控制、母材质量控制、焊接工艺质量控制。

4.7.2 安全环保措施应符合下列规定：

- 1 施工过程应执行国家有关安全生产法规及施工安全规程；
- 2 应对职工进行安全生产教育和培训，掌握安全生产知识；
- 3 所有进入车间的人员应佩戴安全帽，每天上班前应检查车间用气体的安全措施；
- 4 所有电缆、用电设备的拆除、车间照明等均应应由专业电工进行，电动工具应安装漏电保护器，值班电工应检查、维护用电线路及机具，保持良好状态，保证用电安全；
- 5 特殊工种必应持证上岗；
- 6 应采取防火措施。氧气、乙炔气、CO<sub>2</sub>气应存放在规定的安全处，并按规定正确使用，车间、工具房、操作平台等处设置足够数量的灭火器材。电焊、气割时，周围环境不应有易燃物；
- 7 文明施工具体措施应符合下列规定：
  - 1) 对施工人员进行文明施工教育，加强职工的文明施工意识；
  - 2) 实行区域管理，划分责任范围，定期进行文明施工检查；
  - 3) 应加强火源管理。车间不得吸烟，电、气焊及焊接作业时应清理周围的易燃物，消防工具应齐全，动火区域应安放灭火器，并定期检查；
  - 4) 废料应及时清理，并在指定地点堆放，保证施工场地的清洁和施工道路的畅通；
  - 5) 做好成品的外观及形体保护，减少污染。

#### 4.7.3 当对厚板有 Z 向性能要求时的焊接工艺措施应符合下列规定：

- 1 在进行大于 40mm 厚钢板焊接时，应选择合理的节点连接形式（图 4.7.3-1），减小局部区域由于焊缝收缩引起应力集中或避免钢板 Z 向受拉，并应符合下列规定：
  - 1) 在满足要求焊透深度的前提下，应采用较小的焊接坡口角度及间隙(图 4.7.3-1a)；
  - 2) 在角接头中，应采用对称坡口或偏向侧板的坡口，减小板厚方向承受的收缩应力(图 4.7.3-1b)；
  - 3) 宜采用对称坡口，减小焊接收缩应力(图 4.7.3-1c)；
  - 4) 在 T 型或角接头中，应使该板厚度方向受拉的板材端部伸出接头焊缝区(图 4.7.3-1d)，不应在厚板方向受焊接拉应力的板材端部设置焊缝；

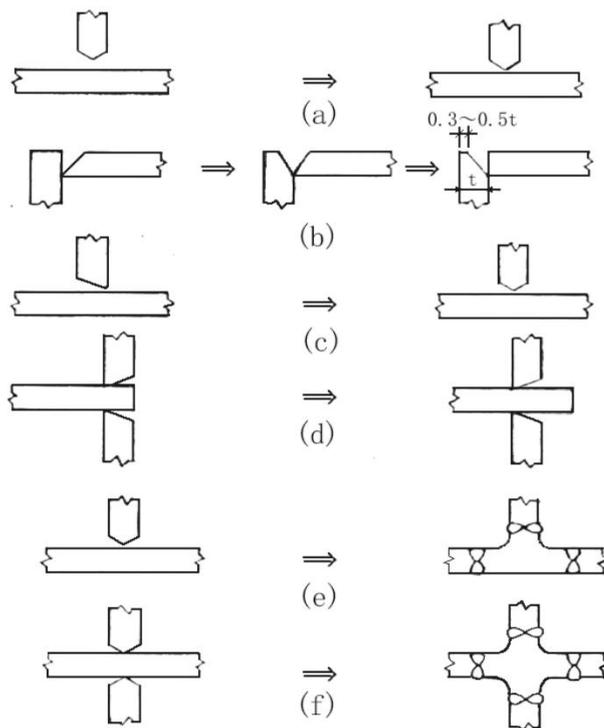


图 4.7.3-1 减小应力集中的节点连接形式

a 较小的焊接坡口角度及间隙； b 对称坡口或偏向侧板的坡口； c 对称坡口； d 厚板受拉的板材端部伸出接头焊缝区； e 过渡段对接接头； f 过渡段对接接头

5) 在 T 型、十字型接头中宜采用过渡段, 采用对接接头取代 T 型、十字型接头(图 4.7.3-1e、f)。

2 焊材及母材的选择应符合下列规定:

- 1) 对有特殊要求的部位, 宜选用 Z 向延性性能好的钢材;
- 2) 在满足受力要求的前提下, 宜选择屈服强度低的焊条。

3 防止层状撕裂的工艺措施应符合下列规定:

- 1) T 型焊接时, 宜在母材板面用低强度焊材先堆焊塑性过渡层 (图 4.7.3-2);

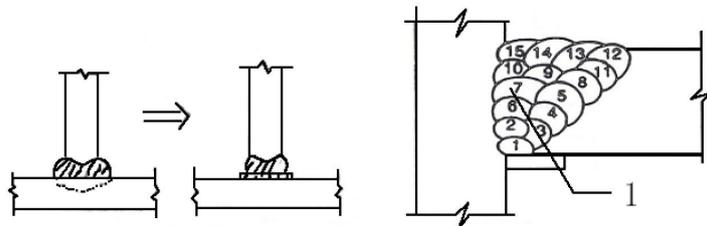


图 4.7.3-2 防止层状撕裂措施

1—锤击焊道 2,6,7,9,10

- 2) 厚板焊接时, 宜采用低氢型、超低氢型焊条或气体保护焊施焊, 并宜提高预热温度;

3) 当板厚大于等于 80mm 时, I 类或 II 类以上钢材箱形柱角焊缝, 板边火焰切割面宜用机械方法去除淬硬层 (图 4.7.3-3);

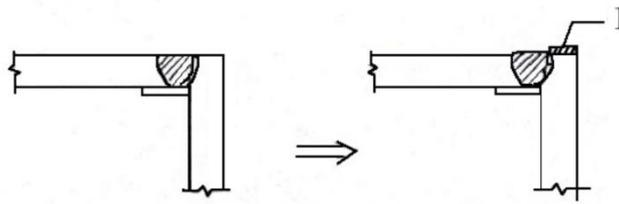


图 4.7.3-3 机械方法去除淬硬层措施

1—焊前机械方法加工

4) 大尺寸熔透焊可采用窄焊道焊接技术, 并应选择合理的焊道次序, 控制收缩变形, 焊接过程中, 应用锤击法来消除焊缝残余应力;

5) 应先焊收缩量较大的焊缝, 使焊缝能较自由地收缩; 先焊错开的短焊缝, 后焊直通长焊缝; 先焊工作时受力较大的焊缝, 使内应力合理分布;

6) 当焊缝金属冷却时, 锤击焊缝区击时温度宜维持在  $100^{\circ}\text{C}\sim 150^{\circ}\text{C}$  之间或在  $400^{\circ}\text{C}$  以上, 不宜在  $200^{\circ}\text{C}\sim 300^{\circ}\text{C}$  之间进行; 多层焊时, 除第一层和最后一层焊缝外, 每层都应锤击;

7) 焊前应对焊接部位进行预热。

## 5 埋弧自动焊

### 5.1 材料要求

**5.1.1** 钢材及焊接材料应按施工图的要求选用，其性能和质量应符合国家现行标准的规定，并应具有质量证明书或检验报告。如果用其它钢材和焊材代换时，应经设计单位同意，并按相应工艺文件施焊。

**5.1.2** 焊剂与焊丝相匹配使用应符合下列规定：

- 1 对于碳素钢和普通低合金钢，应保证焊缝机械性能；
- 2 对于不同强度级别的异种钢接头，宜按强度级较低的钢材选用抗裂性较好的焊接材料；
- 3 焊丝焊剂常用组合宜为硅锰型焊剂与低锰或含锰焊丝相配合；低锰或无锰高硅焊剂宜与高锰焊丝相配合。

**5.1.3** 焊剂在使用前应烘干，烘干温度锰型焊剂宜为  $250^{\circ}\text{C}\sim 300^{\circ}\text{C}$ ，烘烤时间为 2h。碱性焊剂宜为  $350^{\circ}\text{C}\sim 400^{\circ}\text{C}$ ，2h 烘烤后使用。使用中回收的焊剂应经过筛除，去杂物后烘干，再与新焊剂配比使用，并应定期回收焊剂。

**5.1.4** 不同板厚的钢板对接接头的两板厚度差不超过表 5.1.5 规定时，焊缝坡口的基本形式与尺寸可按较厚板的尺寸数据进行选择；否则应在厚板上进行消薄处理（图 5.1.5），削薄长度  $L$  不应小于  $3(\delta - \delta_1)$ 。

表 5.1.5 不同板厚钢板焊接允许厚度差

较薄板厚度 (mm)	2~5	5~9	9~12	>12
允许厚度差( $\delta - \delta_1$ ) (mm)	1	2	3	4

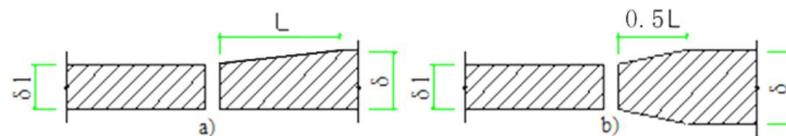


图 5.1.5 厚板消薄处理

a 单面削薄；b 双面削薄

### 5.2 主要机具

**5.2.1** 埋弧焊主要机具宜根据表 5.2.1 的规定进行配备。

表 5.2.1 焊接用机械设备表

备名称	设备型号	数量	单位	备注
埋弧焊机	根据工程实际情况确定	根据工程实际情况确定	台	结构焊接
焊剂烘干箱			台	烘干焊条

柴油发电机		台	应急使用
焊接滚轮架		台	结构焊接
翼缘矫正机		台	型钢校正

5.2.2 埋弧焊检验设备宜根据表 5.2.2 的规定进行配备。

表 5.2.2 工厂加工检验设备、仪器、工具表

备名称	设备型号	数量	单位	设备能力
超声波探伤仪	根据工程实际情况确定	根据工程实际情况确定	台	检查焊缝内部缺陷
数字温度仪			台	测量层间温度
数字钳形电流表			个	测量焊接电流
温湿度仪			个	测量空气湿度
焊缝检验尺			把	检验焊缝外观尺寸
磁粉探伤仪			台	检查焊缝外观尺寸
游标卡尺			把	检查焊缝外观尺寸
钢卷尺			把	测量

### 5.3 作业条件

5.3.1 焊接区应保持干燥、不得有油、锈和其它污物。

5.3.2 用于埋弧焊的焊剂应按照工艺确定的型号和牌号相匹配。焊剂在使用前应按产品说明书规定的烘焙时间和烘焙温度进行烘焙，不得含灰尘、铁屑和其他杂物。

5.3.3 焊前应对焊丝仔细清理，去除铁锈和油污等杂质。

5.3.4 施焊前，焊工应复核焊接件的接头质量和焊接区域的坡口、间隙、钝边等的处理情况。当发现有不符合要求时，应修整合格后方可施焊。

### 5.4 施工工艺

5.4.1 埋弧焊工艺流程宜按图 5.4.1 规定的工艺流程进行。

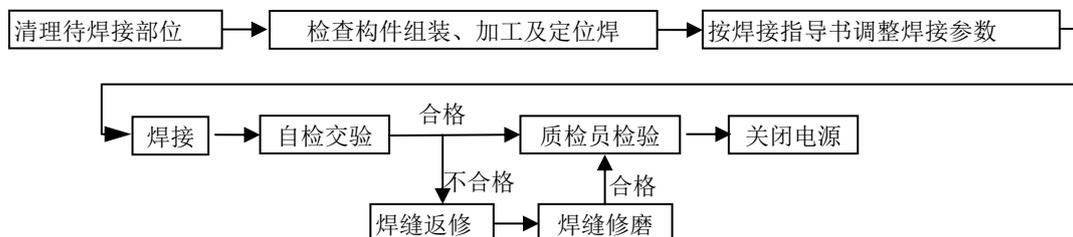


图 5.4.1 埋弧焊工艺流程

5.4.2 埋弧自动焊工艺参数选择应符合下列规定：

1 焊接电流可按经验公式 5.4.2 进行估算：

$$h=k \cdot I \quad (5.4.2)$$

式中  $h$ —熔深, mm;

$I$ —焊接电流, A;

$k$ —系数, 决定于电流种类、极性和焊丝直径等。

2 可根据焊接电流按表 5.4.2-1 选择合适的焊丝直径;

表 5.4.2-1 不同直径焊丝适用的焊接电流范围

焊丝直径 (mm)	3.2	4.0	4.8	3.2	4.0	4.8
电流类型	直流反接			交流		
焊缝长度/mm	≥200			≥200		
焊接电流(A)	450±50	500±50	600±50	450±50	500±50	600±50

3 电弧电压应与焊接电流匹配, 宜按表 5.4.2-2 确定。

表 5.4.2-2 电弧电压与焊接电流的配合

焊接电流(A)	600~700	700~850	850~1000	1000~1200
电弧电压(V)	36~38	38~40	40~42	42~44

注: 焊丝直径 4.8mm, 交流。

5.4.3 不开坡口留间隙双面焊工艺参数宜符合表 5.4.3 的要求。

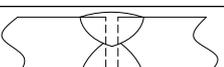
表 5.4.3 不开坡口留间隙双面埋弧自动焊工艺参数

焊件厚度 (mm)	装配间隙 (mm)	焊接电流 (A)	焊接电压(V)		焊接速度 (m/h)
			交 流	直流反接	
10~12	2~3	750~800	34~36	32~34	32
14~16	3~4	775~825	34~36	32~34	30
18~20	4~5	800~850	36~40	34~36	25
22~24	4~5	850~900	38~42	36~38	23
26~28	5~6	900~950	38~42	36~38	20
30~32	6~7	950~ 1000	40~44	38~40	16

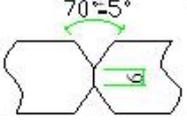
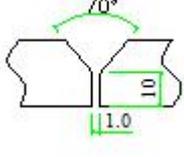
注: 焊丝直径 5mm

5.4.4 对接接头埋弧自动焊宜符合表 5.4.4 的要求。

表 5.4.4 对接接头埋弧自动焊参数

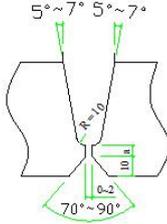
板厚 (mm)	焊丝 直径 (mm)	接头形式	焊接顺序	焊接参数		
				焊接电流 (A)	电弧电 压 (V)	焊接速 度 (m/min)
8	4		正	440~480	30	0.50
			反	480~530	31	
10	4		正	530~570	31	0.63
			反	590~640	33	

12	4		正	620~660	35	0.42
			反	680~720		0.41
14	5		正	830~850	36~38	0.42
			反	600~620	35~38	0.75
16	4		正	530~570	31	0.63
			反	590~640	33	
	5		正	620~660	35	0.42
			反	680~720		0.41
18	5		正	850	36~38	0.42
			反	800		0.50
20	4		正	780~820	29~32	0.33
			反			
	5		正	700~750	36~38	0.46
			反			
20	6		正	925	36	0.45
			反	850	38	
22	6		正	1000	38~40	0.40
			反	900~950	37~39	0.62
24	4		正	700~720	36~38	0.33
			反	700~750		
	5		正	800	34	0.3
			反	900	38	0.27
28	4		正	820	30~32	0.27
			反			

30	4		正	750~800	36~38	0.30
			反	800~850		
	6		正	800	36	0.25
			反	850~900		

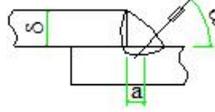
5.4.5 厚板深坡口焊接工艺参数宜符合表 5.4.5 的规定。

表 5.4.5 厚壁多层埋弧焊工艺参数

接头形式	焊丝直径 (mm)	焊接电流 (A)	电弧电压(V)		焊接速度 (m/min)
			交流	直流	
	4	600~7100	36~38	34~36	0.4~0.5
	5	700~800	38~42	36~40	0.45~0.55

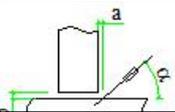
5.4.6 搭接接头的埋弧自动焊宜符合表 5.4.6 的规定。

表 5.4.6 搭接接头埋弧自动焊工艺参数

板厚 (mm)	焊脚 (mm)	焊丝 直径 (mm)	焊接参数			a(mm)	$\alpha(^{\circ})$	简图
			焊接电流 (A)	电弧电压 (V)	焊接速度 (m/min)			
6	—	4	530	32~34	0.75	0	55~60	
8	7	4	650	32~34	0.75	1.5~2.0	55~60	
10	7	4	600	32~34	0.75	1.5~2.0	55~60	
12	6	5	780	32~35	1	1.5~2.0	55~60	

5.4.7 T型接头的单道埋弧自动焊接参数宜符合表 5.4.7 的规定。

表 5.4.7 T型接头单道埋弧自动焊焊接参数

焊脚 (mm)	焊丝 直径 (mm)	焊接电流 (A)	电弧 电压 (V)	焊接速度 (m/min)	送丝速度 (m/min)	a (mm)	b (mm)	$\alpha(^{\circ})$	简图
6	4~5	600~650	30~32	0.7	0.67~0.77	2~2.5	$\leq 1.0$	60	

8	4~5	650~770	30~32	0.42	0.67~0.83	2.0~3.0	1.5~2.0	60	
---	-----	---------	-------	------	-----------	---------	---------	----	--

5.4.8 船形 T 型接头的单道埋弧自动焊焊接参数宜符合表 5.4.8 的规定。

表 5.4.8 船形位置 T 型接头的单道埋弧自动焊焊接参数

焊脚 (mm)	焊丝直径 (mm)	焊接电流 (A)	电弧电压 (V)	焊接速度 (m/min)	送丝速度 (m/min)
6	5	600~700	34~36	—	0.77~0.83
8	4	675~700	34~36	0.33	1.83
	5	700~750	34~36	0.42	0.83~0.92
10	4	725~750	33~35	0.27	2.0
	5	750~800	34~36	0.3	0.9~1

5.4.9 两面焊接应采用同一工艺参数，第一次宜在焊剂垫上施焊。

5.4.10 焊接前尚应按工艺文件的要求调整焊接电流、电弧电压、焊丝伸出长度、焊接速度、送丝速度等参数后方可正式施焊。

5.4.11 厚度 12mm 以下板材，可不开坡口，采用双面焊，正面焊电流稍大，熔深达 65%~70%，反面达 40%~55%。厚度大于 12mm~20mm 的板材，单面焊后，背面清根，再进行焊接。厚度较大板，开坡口焊，宜采用手工打底焊。

5.4.12 多层焊时，每层焊高宜为 4mm~5mm，多道焊时，焊丝离坡口面 3mm~4mm 处焊。

5.4.13 填充层总厚度宜低于母材表面 1mm~2mm，稍凹，不得熔化坡口边。

5.4.14 盖面层使焊缝对坡口熔宽每边 3mm±1mm，调整焊速，使余高为 0mm~3mm。

5.4.15 焊道两端加引弧板和熄弧板，引弧和熄弧焊缝长度应大于或等于 80mm。引弧和熄弧板长度应大于或等于 150mm。引弧和熄弧板应采用气割的方法切除，并修磨平整，不得用锤击落。

5.4.16 埋弧焊每道焊缝熔敷金属横截面的成型系数（宽度：深度）应大于 1。

5.4.17 施焊前，焊工应复核焊接件的接头质量和焊接区域的坡口、间隙、钝边等的处理情况。当发现有不符合要求时，应修整合格后方可施焊。

5.4.18 不应在焊缝以外的母材上打火引弧。

5.4.19 定位焊应符合下列规定：

1 定位焊焊脚尺寸不宜超过设计焊缝厚度的 2/3，且不应大于 6mm。长焊缝焊接时，定位焊缝长度不宜小于 40mm，焊缝间距 500mm~600mm，并应填满弧坑；

2 定位焊的位置应布置在焊道以内。如遇有焊缝交叉时，定位焊缝应离交叉处 50mm 以上；

3 定位焊缝的余高不应过高，定位焊缝的两端应与母材平缓过渡，防止正式焊接时产生未焊透等缺陷；

4 如定位焊缝开裂，应将裂纹处的焊缝铲除后重新定位焊。在定位焊之后，如出现接口不平齐，应进行校正，然后才能正式焊接；

5 定位焊缝不得有裂纹、夹渣、焊瘤等缺陷。焊前应清除焊接区的有害物；

**5.4.20** 对于非密闭的隐蔽部位，应按施工图的要求进行涂层处理后，方可进行组装；对刨平顶紧的部位，应经质量部门检验合格后才能施焊。

**5.4.21** 在组装好的构件上施焊的变形控制应符合下列规定：

1 控制焊接变形，可采取反变形措施，其反变形参考值见表 5.4.21-1。焊接收缩量参见表 5.4.21-2；

2 在约束焊道上施焊，应连续进行；如因故中断，再焊时应对已焊的焊缝局部做预热处理；

3 采用多层焊时，应将前一道焊缝表面清理干净后再继续施焊。

表 5.4.21-1 焊接反变形参考数值

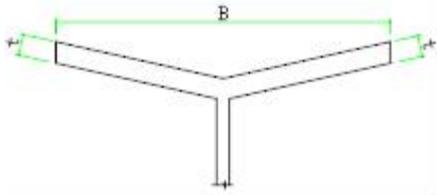
板厚 t(mm)	f(mm) ( $\alpha+2$ )/2 反变形角度 (平均值)	B(mm)												
		150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	
														
12	1° 30' 40"	2	2.5	3	4	4.5	5							
14	1° 22' 40"	2	2.5	3	3.5	4	5	5.5						
16	1° 4'	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4	4.5	5	5			
20	1°	1	2	2	2.5	3	3.5	4	4.5	4.5	5	5		
25	55'	1	1.5	2	2.5	3	3	3.5	4	4	4.5	5	5	
28	34' 20"	1	1	1	1.5	2	2	2	2.5	2.5	3	3.5	3.5	
30	27' 20"	0.5	1	1	1	1.5	1.5	2	2	2	2.5	2.5	3	
36	17' 20"	0.5	0.5	0.5	1	1	1	1	1.5	1.5	1.5	1.5	2	
40	11' 20"	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1	1	1	1	1	1	

表 5.4.21-2 焊接收缩量

结构类型	焊件特征和板厚	焊缝收缩量(mm)
钢板对接	各种板厚	长度方向每米焊缝 0.7； 宽度方向每个接口 1.0
实腹结构及焊接 H 型钢	断面高小于等于 1000mm 且	四条纵焊缝每米共缩 0.6，焊透梁高收缩 1.0，

	板厚小于 25mm	每对加劲焊缝，梁的长度收缩 0.3
	断面高小于等于 1000mm 且板厚大于 25mm	四条纵焊缝每米共缩 1.4，焊透梁高收缩 1.0，每对加劲焊缝，梁的长度收缩 0.7
	断面高大于 1000mm 的各种板厚	四条纵焊缝每米共缩 0.2，焊透梁高收缩 1.0，每对加劲焊缝，梁的长度收缩 0.5
格构式结构	屋架、托架、支架等轻型桁架	接头焊缝每个接口为 1.0； 搭接贴角焊缝每米 0.5
	实腹柱及重型桁架	搭接贴角焊缝每米 0.25
圆筒型结构	板厚小于等于 16mm	直焊缝每个接口周长收缩 1.0； 环焊缝每个接口周长收缩 1.0
	板厚大于 16mm	直焊缝每个接口周长收缩 2.0； 环焊缝每个接口周长收缩 2.0

**5.4.22** 因焊接而变形的构件，机械（冷矫）或在严格控制温度的条件下加热（热矫）的方法进行矫正应符合下列规定：

- 1 普通低合金结构钢冷矫时，工作地点温度不得低于-16℃；热矫时，其温度值应控制在 900℃ 以下；
- 2 普通碳素结构钢冷矫时，工作地点温度不得低于-20℃；热矫时，其温度值不得超过 900℃；
- 3 同一部位加热矫正不得超过 2 次，并应缓慢冷却，不得用水骤冷。

## 5.5 质量标准

**5.5.1** 焊接质量应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的规定。

**5.5.2** 一级、二级焊缝应进行探伤检验，并应符合设计及验收标准的规定。

## 5.6 成品保护

**5.6.1** 构件焊接后的变形，应进行成品矫正，成品矫正宜采用热矫正，加热温度不宜小于 650℃，构件矫正宜符合表 5.6.1 中的要求：

表 5.6.1 构件矫正要求

项 目	允许偏差
柱底板平面度	5.0
桁架、腹杆弯曲	1/1500 且不大于 5mm，梁不准下挠
桁架、腹杆扭曲	H/250 且不大于 5.0mm
牛腿翘曲	当牛腿长度 ≤ 1000 时为 2mm
	当牛腿长度 > 1000 时为 3mm

**5.6.2** 凡构件上的焊瘤、飞溅、毛刺、焊疤等均应清除干净。要求平的焊缝应将焊缝余高磨平。

**5.6.3** 根据装配工序对构件标识的构件代号，用钢印打入构件翼缘上，距端 500mm 范围内。构件编号应按图纸要求编号，编号应清晰、位置应明显。

## 5.7 注意事项

**5.7.1** 材料和质量控制应符合下列规定：

- 1 焊接材料的品种、规格、性能等应符合现行国家产品标准和设计要求；
- 2 重要钢结构采用的焊接材料应进行抽样复验，复验结果应符合现行国家产品标准和设计要求；
- 3 焊剂不应受潮结块；
- 4 所用钢材及焊接材料的规格、型号、材质以及外观检查，均应符合设计图纸和规程的要求；
- 5 焊工应严格按照焊接工艺及技术操作规程施焊；
- 6 建筑钢结构焊接质量检查应由专业技术人员担任，并应经岗位培训取得质量检查员岗位合格证书；
- 7 焊工应有合格证及施焊资格，不应无证上岗；
- 8 雪雨天气时，不应露天焊接。构件焊区表面潮湿或有冰雪时，应清除干净方可施焊。在四级以上风力焊接时，应采取防风措施。

**5.7.2** 安全环保措施应符合下列规定：

- 1 施工过程应彻执行国家有关安全生产法规及施工安全规程；
- 2 应对职工进行安全生产教育和培训，掌握安全生产知识；
- 3 所有进入车间的人员应佩戴安全帽，每天上班前应检查车间用气体的安全措施；
- 4 所有电缆、用电设备的拆除、车间照明等均应应由专业电工进行，电动工具应安装漏电保护器，值班电工应检查、维护用电线路及机具，保持良好状态，保证用电安全；
- 5 特殊工种必应持证上岗；
- 6 应采取防火措施。氧气、乙炔气、CO<sub>2</sub>气应存放在规定的安全处，并按规定正确使用，车间、工具房、操作平台等处设置足够数量的灭火器材。电焊、气割时，周围环境不应有易燃物；
- 7 文明施工具体措施应符合下列规定：
  - 1) 对施工人员进行文明施工教育，加强职工的文明施工意识；
  - 2) 实行区域管理，划分责任范围，定期进行文明施工检查；
  - 3) 应加强火源管理。车间不得吸烟，电、气焊及焊接作业时应清理周围的易燃物，消防工具应齐全，动火区域应安放灭火器，并定期检查；

- 4) 废料应及时清理，并在指定地点堆放，保证施工场地的清洁和施工道路的畅通；
- 5) 做好成品的外观及形体保护，减少污染。

### 5.7.3 当设计对厚板有 Z 向性能要求时的焊接工艺措施应符合下列规定：

1 在进行大于 40mm 厚钢板焊接时，应选择合理的节点连接形式（图 5.7.3-1），减小局部区域由于焊缝收缩引起应力集中或避免钢板 Z 向受拉，并应符合下列规定：

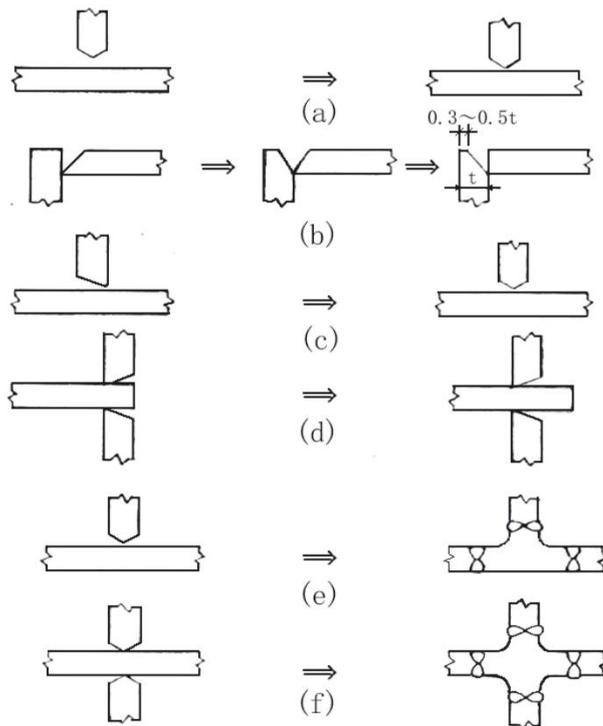


图 5.7.3-1 减小应力集中的节点连接形式

a 较小的焊接坡口角度及间隙； b 对称坡口或偏向侧板的坡口； c 对称坡口； d 厚板受拉的板材端部伸出接头焊缝区； e 过渡段对接接头； f 过渡段对接接头；

- 1) 在满足要求焊透深度的前提下，应采用较小的焊接坡口角度及间隙(图 5.7.3-1a)；
- 2) 角接头应采用对称坡口或偏向侧板的坡口减小板厚方向承受的收缩应力(图 5.7.3-1b)；
- 3) 宜采用对称坡口减小焊接收缩应力(图 5.7.3-1c)；
- 4) T 型或角接头应使该板厚度方向受拉的板材端部伸出接头焊缝区(图 5.7.3-1d)，不应在厚板方向受焊接拉应力的板材端部设置焊缝；
- 5) T 型、十字型接头宜采用过渡段，采用对接接头取代 T 型、十字型接头(图 5.7.3-1e、f)；

2 有特殊要求的部位可选用 Z 向延性性能好的钢材，在满足受力要求的前提下，宜选择屈服强度低的焊条；

3 可采用软金属丝做垫层,使收缩变形发生在焊缝中,而避免在母材中产生应力集中。或在节点焊缝处涂焊一层低强度延性焊接金属,让焊缝收缩变形发生在涂焊金属中(图 5.7.3-2);

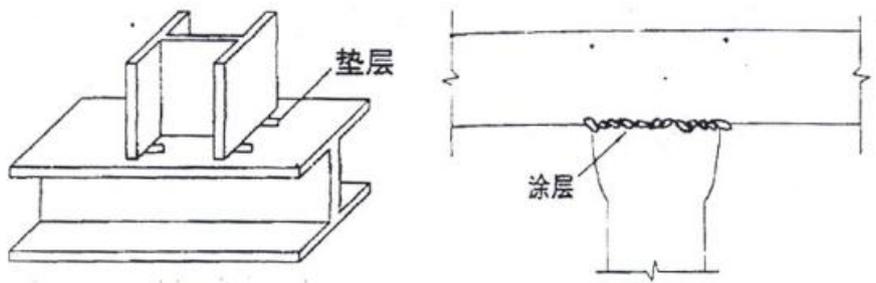


图 5.7.3-2 减小应力集中措施

4 防止层状撕裂的工艺措施应符合下列规定:

1) T 型焊接时,宜在母材板面用低强度焊材先堆焊塑性过渡层(图 5.7.3-3);

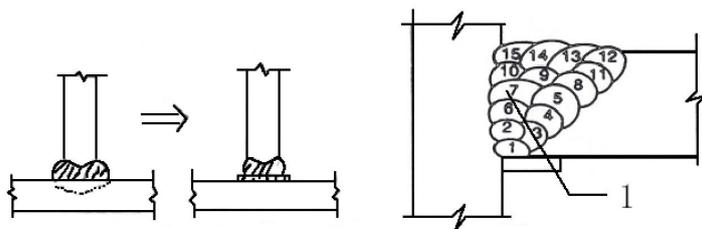


图 5.7.3-3 防止层状撕裂措施

1—锤击焊道 2,6,7,9,10

2) 厚板焊接时可采用低氢型、超低氢型焊条或气体保护焊施焊,并应提高预热温度;

3) 当板厚大于等于 80mm 时, I 类或 II 类以上钢材箱形柱角焊缝,板边火焰切割面宜用机械方法去除淬硬层(图 5.7.3-4);

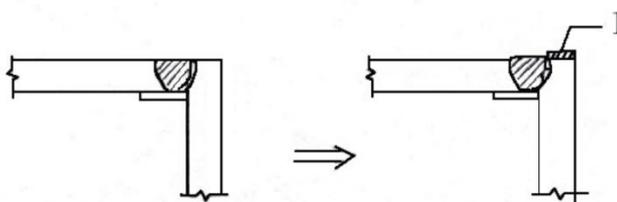


图 5.7.3-4 机械方法去除淬硬层措施

1—焊前机械方法加工

4) 大尺寸熔透焊可采用窄焊道焊接技术,并选择合理的焊道次序,控制收缩变形,焊接过程中,应用锤击法来消除焊缝残余应力;

5) 应先焊收缩量较大的焊缝，使焊缝能较自由地收缩；先焊错开的短焊缝，后焊直通长焊缝；先焊工作时受力较大的焊缝，使内应力合理分布；

6) 应采取反变形降低局部刚性；

7) 锤击时温度应维持在  $100^{\circ}\text{C}\sim 150^{\circ}\text{C}$  之间或在  $400^{\circ}\text{C}$  以上，不宜在  $200^{\circ}\text{C}\sim 300^{\circ}\text{C}$  之间进行；多层焊时，除第一层和最后一层焊缝外，每层都应锤击；

8) 焊前应对焊接部位进行预热。

## 6 电渣焊

### 6.1 材料要求

**6.1.1** 钢材及焊接材料应按施工图的要求选用，其性能和质量应符合国家现行标准的规定，并应具有质量证明书或检验报告。如果用其它钢材和焊材代换时，应经设计单位同意，并按相应工艺文件施焊。

**6.1.2** 按指定焊丝的牌号和规格使用。

### 6.2 主要机具

**6.2.1** 电渣焊所用机具宜符合表 6.2.1 的规定。

表 6.2.1 焊接用机械设备表

设备名称	设备型号	数量	单位	备注
电动空气压缩机	根据工程实际情况确定	根据工程实际情况确定	台	碳弧气刨用
焊剂烘干机			台	烘干焊剂
柴油发电机			台	应急使用
翼缘矫正机			台	型钢校正

**6.2.2** 电渣焊所用检验工具宜符合表 6.2.2 的规定。

表 6.2.2 工厂加工检验设备、仪器、工具表

备名称	设备型号	数量	单位	备注
超声波探伤仪	根据工程实际情况确定	根据工程实际情况确定	台	检查焊缝内部缺陷
数字温度计			台	测量层间温度
数字钳形电流表			个	测量焊接电流
温湿度仪			个	测量空气湿度
焊缝检验尺			把	检验焊缝外观尺寸
磁粉探伤仪			台	测量焊缝内部尺寸
游标卡尺			把	测量焊缝外观尺寸
钢卷尺			把	测量

### 6.3 作业条件

**6.3.1** 电渣焊不应露天作业。当气温低于 0℃，相对湿度大于或等于 90%，网络电压严重波动时不得施焊。

**6.3.2** 焊接区应保持干燥、不得有油、锈和其它污物。

**6.3.3** 电渣焊焊剂在使用前应按产品说明书规定的烘焙时间和烘焙温度进行烘焙，不得含灰尘、铁屑和其他杂物。烘干时间不少于 2h。

**6.3.4** 熔嘴孔内受潮，生锈或沾有污物时不得使用。

**6.3.5** 熔嘴不应有明显锈蚀和弯曲，用前应按规定进行烘干，在 80℃左右的容器中存放和待用。

6.3.6 焊丝的盘绕应整齐紧密，没有硬碎弯、锈蚀和油污。焊丝盘上的焊丝量最少不得少于焊一条焊缝所需焊丝量。

6.3.7 所有焊机的各部位均应处于正常工作状态。

6.3.8 焊机的电流表、电压表和调节旋钮刻度指数的指示正确性和偏差数应清楚明确。

6.3.9 保证电源的供应和稳定性，避免焊接中途断电和网压波动过大。

6.3.10 施焊前，焊工应复核焊接件的接头质量和焊接区域的坡口、间隙、钝边等的处理情况。当发现有不符合要求时，应修整合格后方可施焊。焊接连接组装允许偏差值符合本标准表 4.5.3 的规定。

## 6.4 施工工艺

6.4.1 电渣焊的工艺流程宜符合图 6.4.1 中的规定。

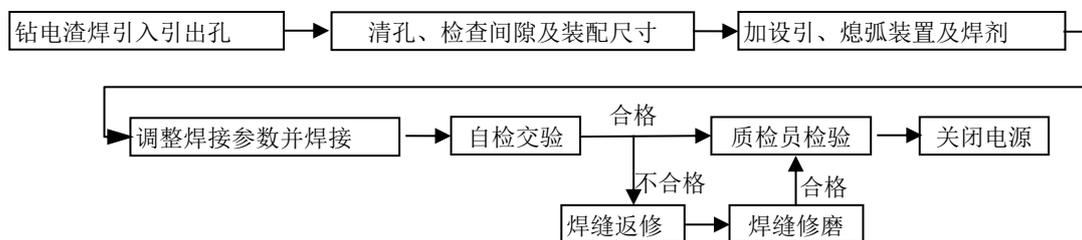


图 6.4.1 电渣焊工艺流程

6.4.2 施焊前，应检查组装间隙的尺寸，装配缝隙应保持在 1mm 以下，当缝隙大于 1mm 时应采取措施进行修整和补救。

6.4.3 检查焊接部位的清理情况，焊接断面及其附近的油污、铁锈和氧化物等污物应清除干净。

6.4.4 焊道两端应按工艺要求设置引弧板和熄弧板。

6.4.5 安装管状熔嘴并应调整对中，熔嘴下端距引弧板底面距离宜为 15mm~25mm。

6.4.6 焊接电流的选择可按公式 6.4.6 进行计算：

$$I = K \cdot F \quad (6.4.6)$$

式中：I — 平均焊接电流，A；

F — 管状熔嘴截面积，mm<sup>2</sup>；

K — 比例系数，宜取 5~7

6.4.7 在保证焊透的情况下，电压宜取较低值。焊接电压宜在 35V~55V 之间选取。引弧时电压应比正常焊接过程中的电压高 3V~8V，渣池形成后应恢复正常焊接电压。

6.4.8 焊接速度可在 1.5m/h~3m/h，的范围内选取；常用的送丝速度范围宜为 200m/h~300m/h，造渣过程中送丝速度宜选取 200m/h。渣池深度宜为 35mm~55mm。

6.4.9 焊接启动时应慢慢投入少量焊剂，宜为 35g~50g，焊接过程中应逐渐少量添加焊剂。

6.4.10 焊接过程中熔嘴应在焊道的中心位置上，熔嘴和焊丝不得过偏。

6.4.11 焊接过程中应检查焊件的炽热状态，不宜低于 800℃（樱红色）。不足 800℃时应调整焊接工艺参数，增加渣池内总热量。

6.4.12 当焊件厚度低于 16mm 时应在焊件外部安装铜散热板或循环水散热器。

6.4.13 焊缝收尾时应减小焊接电压，并断续送进焊丝，将焊缝引到熄弧板上收尾。

6.4.14 电渣焊可不作焊前预热和焊后热处理，但引弧前应对引弧器加热到 100℃左右。

6.4.15 在组装好的构件上施焊，应按焊接工艺规定的参数以及焊接顺序进行，控制焊后构件变形应符合下列规定：

1 控制焊接变形可采取反变形措施，其反变形参考值见表 6.4.15-1。焊接收缩量应符合表 6.4.15-2 的规定：

2 在约束焊道上施焊应连续进行，当因故中断再焊时应对已焊的焊缝局部做预热处理；

3 采用多层焊时应将前一道焊缝表面清理干净后再继续施焊。

表 6.4.15-1 焊接反变形参考数值

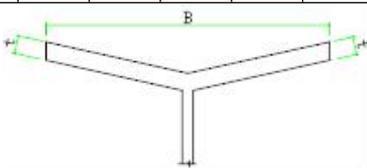
板厚 t(mm)	f(mm) ( $\alpha+2$ )/2 反变形角度 (平均值)	B(mm)												
		150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	
														
12	1° 30' 40"	2	2.5	3	4	4.5	5							
14	1° 22' 40"	2	2.5	3	3.5	4	5	5.5						
16	1° 4'	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4	4.5	5	5			
20	1°	1	2	2	2.5	3	3.5	4	4.5	4.5	5	5		
25	55°	1	1.5	2	2.5	3	3	3.5	4	4	4.5	5	5	
28	34° 20"	1	1	1	1.5	2	2	2	2.5	2.5	3	3.5	3.5	
30	27° 20"	0.5	1	1	1	1.5	1.5	2	2	2	2.5	2.5	3	
36	17° 20"	0.5	0.5	0.5	1	1	1	1	1.5	1.5	1.5	1.5	2	
40	11° 20"	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1	1	1	1	1	1	

表 6.4.15-2 焊接收缩量

结构类型	焊件特征和板厚	焊缝收缩量(mm)
钢板对接	各种板厚	长度方向每米焊缝 0.7； 宽度方向每个接口 1.0
实腹结构及焊接 H 型钢	断面高小于等于 1000mm 且板厚小于 25mm	四条纵焊缝每米共缩 0.6，焊透梁高收缩 1.0， 每对加劲焊缝，梁的长度收缩 0.3
	断面高小于等于 1000mm 且板厚大于 25mm	四条纵焊缝每米共缩 1.4，焊透梁高收缩 1.0， 每对加劲焊缝，梁的长度收缩 0.7
	断面高大于 1000mm 的各 种板厚	四条纵焊缝每米共缩 0.2，焊透梁高收缩 1.0， 每对加劲焊缝，梁的长度收缩 0.5
格构式结构	屋架、托架、支架等轻型 桁架	接头焊缝每个接口为 1.0； 搭接贴角焊缝每米 0.5
	实腹柱及重型桁架	搭接贴角焊缝每米 0.25

圆筒型结构	板厚小于等于 16mm	直焊缝每个接口周长收缩 1.0; 环焊缝每个接口周长收缩 1.0
	板厚大于 16mm	直焊缝每个接口周长收缩 2.0; 环焊缝每个接口周长收缩 2.0

**6.4.16** 因焊接而变形的构件可采用机械（冷矫）或在严格控制温度的条件下加热（热矫）的方法进行矫正，矫正应符合下列规定：

- 1 普通低合金结构钢冷矫时，工作地点温度不得低于-16℃；热矫时温度值应控制在750℃~900℃之间；
- 2 普通碳素结构钢冷矫时工作地点温度不得低于-20℃；热矫时温度值不得超过 900℃；
- 3 同一部位加热矫正不得超过 2 次，并应缓慢冷却，不得用水骤冷。

## 6.5 质量标准

**6.5.1** 电渣焊质量标准应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的规定。

**6.5.2** 一级、二级焊缝应进行探伤检验，并应符合设计及验收标准的规定。

## 6.6 成品保护

**6.6.1** 构件焊接后的变形，应进行成品矫正，成品矫正宜采用热矫正，加热温度不宜小于 650℃，构件矫正应符合表 6.6.1 中的要求。

表 6.6.1 构件矫正规定

项 目	允许偏差
柱底板平面度	5.0
桁架、腹杆弯曲	1/1500且不大于5mm，梁不准下挠
桁架、腹杆扭曲	H/250且不大于5.0mm
牛腿翘曲	当牛腿长度≤1000时为2mm 当牛腿长度>1000时为3mm

**6.6.2** 凡构件上的焊瘤、飞溅、毛刺、焊疤等均应清除干净。要求磨平的焊缝应将焊缝余高磨平。

**6.6.3** 根据装配工序对构件标识的构件代号，用钢印打入构件翼缘上，距端 500mm 范围内。构件编号应按图纸要求编号，编号应清晰、位置应明显。

**6.6.4** 应在构件打钢印代号的附近，在构件上挂铁牌，铁牌上用钢印打号来表明构件编号。

**6.6.5** 用红色油漆标注中心线标记并打钢印。

**6.6.6** 钢构件制作完成后，应按照施工图的规定及现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 进行验收，构件外形尺寸的允许偏差应符合上述规定中的要求。

## 6.7 注意事项

**6.7.1** 材料的关键要求应符合下列规定：

- 1 焊接材料的品种、规格、性能应符合现行国家产品标准和设计要求；
  - 2 重要钢结构采用的焊接材料应进行抽样复验，复验结果应符合现行国家产品标准和设计要求；
  - 3 熔嘴不应有明显锈蚀和弯曲；焊剂不应受潮结块；
  - 4 所用钢材及焊接材料的规格、型号、材质以及外观检查，均应符合设计图纸和规程的要求。
- 6.7.2** 焊工应严格按照焊接工艺及技术操作规程施焊。
- 6.7.3** 建筑钢结构焊接质量检查应由专业技术人员担任，并应经岗位培训取得质量检查员岗位合格证书。
- 6.7.4** 焊工应有合格证及施焊资格，不应无证上岗。
- 6.7.5** 电渣焊不应露天作业。当气温低于 0℃、相对湿度大于或等于 90%、网络电压严重波动时不得施焊。
- 6.7.6** 应作好质量记录。

## 7 二氧化碳气体保护焊

### 7.1 材料要求

**7.1.1** 钢材及焊接材料应按施工图的要求选用,性能和质量应符合国家标准和行业标准的规定,并应具有质量证明书或检验报告。如果用其它钢材和焊材代换时,应经设计单位同意,并按相应工艺文件施焊。

**7.1.2** 焊丝成份应与母材成份相近,应具有良好的焊接工艺性能。焊丝含碳量宜小于 0.11%。其表面宜镀铜等防锈措施。 $\text{CO}_2$  气体保护焊焊丝化学成分应符合现行国家标准《熔化焊用焊丝》GB/T 14957 的规定,焊丝熔敷金属的机械性能应符合现行国家标准《熔化极气体保护电弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝》GB/T 8110 的规定。

**7.1.3**  $\text{CO}_2$  气体纯度不低于 99.5%,含水量不超过 0.05%,气路系统中应设置干燥器和预热装置。当压力低于 1MPa 时,不得继续使用。

**7.1.4** 应在施焊和坡口加工可能的条件下,减小焊接变形。宜根据板厚选择坡口形式,并应符合现行国家标准《气焊、焊条电弧焊、气体保护焊和高能束焊的推荐坡口》GB/T 985.1 的规定。

**7.1.5** 不同板厚的钢板对接接头的两板厚度差( $\delta - \delta_1$ )不超过表 7.1.5 规定时,焊缝坡口的基本形式与尺寸宜按较厚板的尺寸数据进行选择;否则应在厚板上进行消薄处理(图 7.1.5),其削薄长度 L 不应小于  $3(\delta - \delta_1)$ 。

表 7.1.5 不同板厚的钢板对接接头的两板厚度差

削薄长度 L (mm)	2~5	5~9	9~12	12
允许厚度差( $\delta - \delta_1$ ) (mm)	1	2	3	4

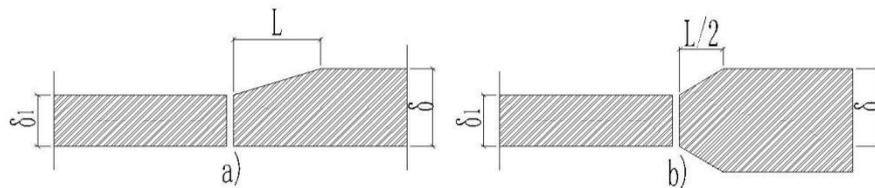


图 7.1.5 厚板消薄处理

a 单面削薄; b 双面削薄

### 7.2 主要机具

**7.2.1**  $\text{CO}_2$  焊接用机械设备宜配备空气压缩机、柴油发电机、 $\text{CO}_2$  焊机、翼缘矫正机等。

**7.2.2** 工厂加工检验设备宜配备超声波探伤仪、数字温度计、数字钳形电流表、温湿度仪、焊缝检验尺、磁粉探伤仪、游标卡尺、钢卷尺等。

### 7.3 作业条件

7.3.1 焊接区应保持干燥、不得有油、锈和其它污物。

7.3.2 当焊接区风速过大而影响焊接质量时，应采用挡风装置。对焊接现场进行有效防护后方可开始焊接。

7.3.3 焊前应对焊丝仔细清理，去除铁锈和油污等杂质。

7.3.4 施焊前，焊工应复核焊接件的接头质量和焊接区域的坡口、间隙、钝边等的处理情况。当发现有不符合要求时，应修整合格后方可施焊。焊接连接组装允许偏差值应符合本标准表 4.5.3 的规定。

## 7.4 施工工艺

7.4.1 CO<sub>2</sub> 气体保护焊施工工艺应按图 7.4.1 的流程操作：

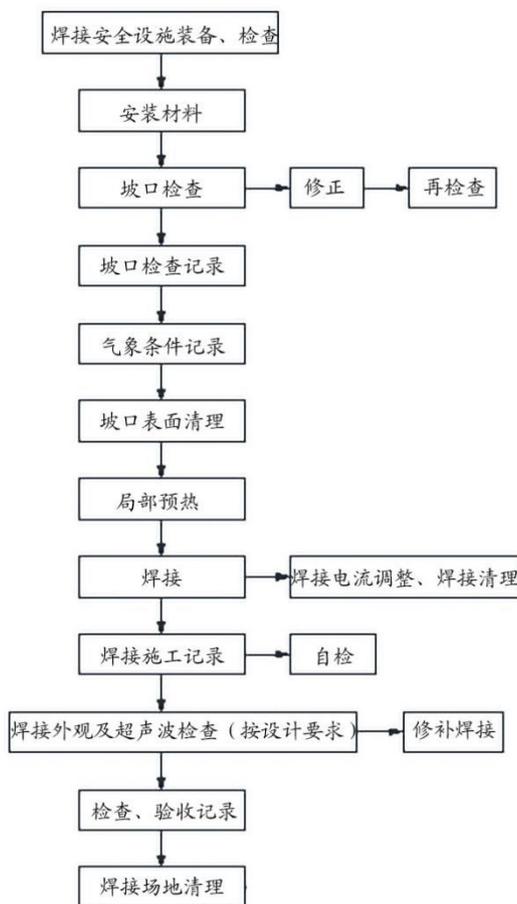


图 7.4.1 CO<sub>2</sub> 气体保护焊施工工艺流程图

7.4.2 应根据板厚的不同按表 7.4.2 选择不同的焊丝直径，宜选择直径较大的焊丝。

表 7.4.2 焊丝直径的选择

母材厚度	≤4	>4
焊丝直径	0.5~1.2	1.0~2.5

7.4.3 细丝导电嘴孔径不宜大于焊丝直径的 0.1mm~0.25mm，粗丝焊导电嘴孔径不宜大于焊丝直径的 0.20mm~0.40mm。送丝软管内的曲率半径不应小于 150mm。

7.4.4 CO<sub>2</sub> 气体保护焊应采用直流反接。焊接电流和电弧电压宜符合表 7.4.4 的规定。

表 7.4.4 常用焊接电流和电弧电压的范围

焊丝直径 (mm)	短路过渡		细颗粒过渡	
	电流(A)	电压(V)	电流(A)	电压(V)
0.5	30~60	16~18	—	—
0.6	30~70	17~19	—	—
0.8	80~140	18~21	—	—
1.0	70~120	18~22	—	—
1.2	100~150	19~23	160~400	25~38
1.6	140~200	20~24	200~500	26~40
2.0	—	—	200~600	27~40
2.5	—	—	300~700	28~42
3.0	—	—	500~800	32~44

注：最佳电弧电压有时只有 1V~2V 之差，应仔细调整。

7.4.5 焊丝直径不大于 1.2mm 时，CO<sub>2</sub> 气体流量宜为 6L/min~15L/min 为宜。当选用大电流焊时，焊速提高。室外焊及仰焊时，应采用较大气体流量。焊丝伸出长度宜为 10 倍焊丝直径。

7.4.6 典型的短路过渡焊接工艺参数宜符合表 7.4.6 的规定。

表 7.4.6 不同直径焊丝典型的短路过渡焊接工艺参数

焊丝直径 mm	0.8	1.2	1.6
焊接电流 A	100~110	120~135	140~180
电弧电压 V	18	19	20

7.4.7 细颗粒过渡的电流下限值及电弧电压范围宜符合表 7.4.7 的规定。

表 7.4.7 不同直径焊丝细颗粒过渡的电流下限值及电弧电压范围

焊丝直径(mm)	1.2	1.6	2.0	3.0	4.0
焊接电流(A)	300	400	500	650	750
电弧电压(V)	34~45				

7.4.8  $\phi$  1.6 焊丝 CO<sub>2</sub> 半自动焊常用工艺参数宜符合表 7.4.8 的规定。

表 7.4.8  $\phi$  1.6 焊丝 CO<sub>2</sub> 半自动焊常用工艺参数

熔滴过渡形式	焊接电流 A	电弧电压 V	气体流量(L/min)	适用范围
短路过渡	160	22	15~20	全位置焊
细颗粒过渡	400	39	20~25	平焊

**7.4.9** 重要焊缝应加引弧板，熄弧板材质和坡口形式应与焊件相同。引弧和熄弧焊缝长度不应小于 25mm。引弧和熄弧板长度不应小于 60mm。引弧和熄弧板应采用火焰切割的方法切除，并修磨平整，不得用锤击落。

**7.4.10** 打底焊层厚度不超过 4mm，填充焊时焊枪应横向摆动，使焊道表面下凹，且高度低于母材表面 1.5mm~2mm；盖面焊时焊接熔池边缘应超过坡口棱边 0.5mm~1.5mm，不应咬边。立焊时厚度不超过 6mm 的薄板可以采用向下立焊方法进行焊接，工件厚度大于 6mm 时应采用向上立焊方法。

**7.4.11** 不应在焊缝以外的母材上打火引弧。

**7.4.12** 常用结构钢施焊最低环境温度可按表 7.4.12 选用。

表 7.4.12 常用结构钢施焊环境温度

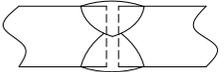
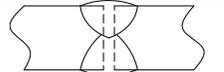
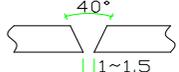
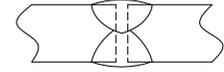
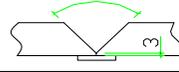
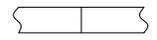
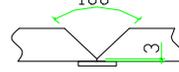
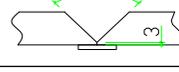
钢号	使用对象	接头种类	焊接方法	金属厚度 t (mm)	环境温度(°C)
Q235	一、二级重要 钢结构	对接	自动焊	t≤25 t>25	-10 -5
Q355		对接 T 型接	焊条电弧焊(碱性 焊条)	t≤14 14<t≤22 22<t≤30 t>30	-10 -5 0 +5
Q355		T 型接 (包括搭接)	气体保护焊	t≤16 16<t≤20 t>20	-10 -5 0
Q390			焊条电弧焊(碱性 焊条)	t≤12 12≤t≤20 t>20	-10 -5 0
Q390		十字接	焊条电弧焊(碱性 焊条)	t≤8 8<t≤16 t>16	-10 -5 0
Q420		对接	气体保护焊	t≤16 16<t≤20 t>20	-10 -5 0
			焊条电弧焊(碱性 焊条)	t≤12 12<t≤20 t>20	-10 -5 0

**7.4.13** 非密闭的隐蔽部位应按施工图的要求进行涂层处理后，方可进行组装，刨平顶紧的部位应经质量部门检验合格后方可施焊。

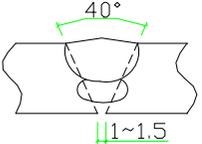
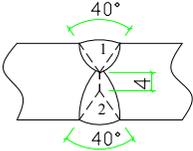
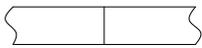
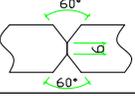
**7.4.14** 焊丝 CO<sub>2</sub> 焊全熔透对接接头焊件的焊接工艺参数宜符合表 7.4.14 的规定。

**7.4.15** 焊丝 CO<sub>2</sub> 焊 T 型接头贴角焊焊件的焊接工艺参数宜符合表 7.4.15 的规定。

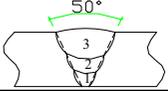
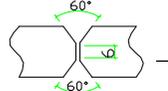
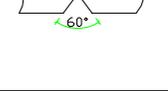
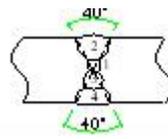
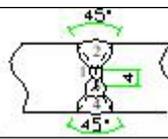
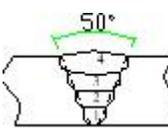
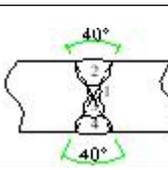
表 7.4.14 CO<sub>2</sub> 焊全熔透对接接头焊件的焊接工艺参数

板厚 (mm)	焊丝直径 (mm)	接头形式	装配间隙 (mm)	层数	焊接参数					备注
					焊接电流 (A)	电弧电压 (V)	焊接速度 (m/min)	焊丝外伸长 (mm)	气体流量 (l/min)	
6	1.2		1.0~1.5	1	270	27	0.55	12~14	10~15	d 为焊丝直径
	1.2		0~1	2	190	19	0.25	15	15	
					210	30				
	1.6		1	1	400~430	36~38	0.80~0.83	16~22	15~20	
2.0		1.6~2.2	1~2	280~300	28~30	0.30~0.37	10d 但不大于 40	16~18		
8	1.2		1~1.5	2	160~170	26~27	0.3~0.5	12~40	20	
					170~180	28~30				0.4~0.5
	1.6		1	2	350~380	35~37	0.7	16~22	20~25	
					400~430	36~38				
	1.6		1.9~2.2	2	450	41	0.48	10d 但不大于 40	16~18	用铜垫板, 单面焊双面成型
2.0		1.9~2.2	2	400~420	34~36	0.40	10d 但不大于 40	16	采用陡降外特性	
2.0		1.9~2.2	3	350~360	34~36	0.45~0.5	10d 但不大于 40	16~18	采用陡降外特性	
8	2.0		1.9~2.2	1	450~460	35~36	0.40~0.47	10d 但不大于 40	16~18	用铜垫板, 单面焊双面成型
	2.5		1.9~2.2	1	600~650	41~43	0.40	10d 但不大于 40	20	用铜垫板, 单面焊双面成型

续表 7.4.14 CO<sub>2</sub> 焊全熔透对接接头焊件的焊接工艺参数

板厚 (mm)	焊丝直径 (mm)	接头形式	装配间隙 (mm)	层数	焊接参数					备注
					焊接电流 (A)	电弧电压 (V)	焊接速度 (m/min)	焊丝外伸长 (mm)	气体流量 (l/min)	
9	1.6		1.0	1	420	38	0.5	16~22	20	
				340	33.5					
	1.6		0~1.5	2	360	34	0.45	15	20	
10	1.2		1~1.5	2	160~170	20~30	0.3~0.5	15	20	V 型坡口
	280~300				30~33	0.25~0.30				
	300~320				37~39	0.70~0.82				
	1.2			2	300~320	37~39	0.70~0.82	15	20	X 型坡口
	2.0				600~650	37~38	0.60	10d 但不大于 40	20	采用陡降外特性
12	1.2			2	310	32	0.5	15	20	
	330				33					
		1.6		0~1.5	2	400~430	36~38	0.70	16~22	20~26.7
	2.0		1.8~2.2	2	280~300	20~30	0.27~0.33	10d 但不大于 40	18~20	自动焊或半自动焊均可

续表 7.4.14 CO<sub>2</sub> 焊全熔透对接接头焊件的焊接工艺参数

板厚 (mm)	焊丝直径 (mm)		装配间隙 (mm)	层数	焊接参数					备注
					焊接电流 (A)	电弧电压 (V)	焊接速度 (m/min)	焊丝外伸长 (mm)	气体流量 (l/min)	
16	1.2			3	120~140	25~27	0.40~0.50	15	20	V 型坡口
					300~340	33~35	0.30~0.40			
					300~340	35~37	0.20~0.30			
	1.6			2	410	34.5	0.27	20	20	X 型坡口
430	36				0.45					
16	1.2			4	140~160	24~26	0.20~0.30	15	20	无钝边
					260~280	31~33	0.33~0.40			
					270~290	34~36	0.50~0.60			
					270~290	34~36	0.40~0.50			
	1.6			4	400~430	36~38	0.50~0.60	16~22	25	
					400~430	36~38	0.50~0.60			
20	1.2			4	120~140	25~27	0.40~0.50	15	25	
					300~340	33~35	0.30~.040			
					300~340	33~35	0.30~0.40			
					300~340	33~37	0.12~0.15			
	1.2			4	140~160	24~26	0.25~0.30	15	20	
					260~280	31~33	0.45			
					300~320	35~37	0.40~0.50			
					300~320	35~37	0.40			

续表 7.4.14 CO<sub>2</sub> 焊全熔透对接接头焊件的焊接工艺参数

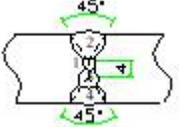
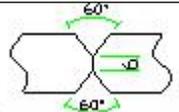
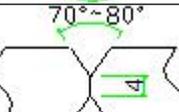
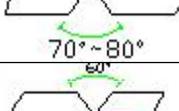
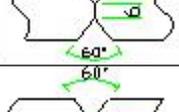
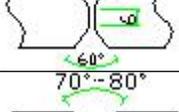
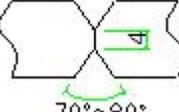
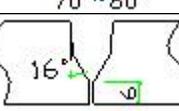
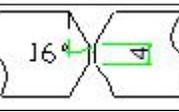
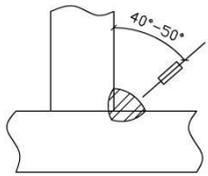
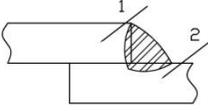
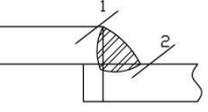
板厚 (mm)	焊丝直径 (mm)	接头形式	装配间隙 (mm)	层数	焊接参数					备注
					焊接电流 (A)	电弧电压 (V)	焊接速度 (m/min)	焊丝外伸长 (mm)	气体流量 (l/min)	
20	1.6		0~2.1	4	400~430	36~38	0.35~0.45	16~22	26.7	
	2			2	440~460	30~32	0.27~0.35	20~30	21.7	
	2.5									
22	2				360~400	38~40	0.4	10d 但不大于 40	16~18	双面面层堆焊
25	1.6			2	480	38	0.3	20	25	
					500	39				
25	2		0~2.0	4	420~440	30~32	0.27~0.35	20~30	21.7	
	2.5									
32	2.5				600~650	41~43	0.4	10d 但不大于 40	20	双面面层堆焊, 材质 Q355
40 以上	2		0.20	10 层以上	440~500	30~32	0.27~0.35	20~30	21.7	U 型坡口
	2.5									
	2		0.20	10 层以上	440~500	30~32	0.27~0.35	20~30	21.7	
	2.5									

表 7.4.15 CO<sub>2</sub> 焊 T 型接头贴角焊焊件的焊接工艺参数

接头形式	板厚 (mm)	焊丝直径 (mm)	焊接参数				焊角尺寸 (mm)	焊丝对 中位置	备注
			焊接电流 (A)	电弧电压 (V)	焊接速度 (m/min)	气体流量 (l/min)			
 水平角焊	1.6	0.8~1.0	90	19	0.50	10~15	3.0		
	2.3	1.0~1.2	120	20	0.50	10~15	3.0		
	3.2	1.0~1.2	140	20.5	0.50	10~15	3.5		
	4.5	1.0~1.2	160	21	0.45	10~15	4.0		
	≥5	1.6	260~280	27~29	0.33~0.43	16~18	5~6	焊 1 层	
	≥5	2.0	280~300	28~30	0.43~0.47	16~18	5~6	焊 1 层	
	6	1.2	230	23	0.55	10~15	6.0		
	6	1.6	300~320	37.5	—	20	5.0		
	6	1.6	340	34	—	20	5.0		
	6	1.6	360	39~40	0.58	20	5.0		
	6	2.0	340~350	35	—	20	5.0		
	8	1.6	390~400	41	—	20~25	6.0		
	12.0	1.2	290	28	0.50	10~15	7.0		
12.0	1.6	360	36	0.45	20	8.0			
 搭接角焊	1.2	0.8~1.2	90	19	0.5	10~15		1	
	1.6	1.0~1.2	120	19	0.5	10~15		1	
	2.3	1.0~1.2	130	20	0.5	10~15		1	
	3.2	1.0~1.2	160	21	0.5	10~15		2	
 搭接角焊	4.5	1.2	210	22	0.5	10~15		2	
	6.0	1.2	270	26	0.5	10~15		2	
	8.0	1.2	320	32	0.5	10~15		2	

**7.4.16** 在组装好的构件上施焊，控制焊接变形，宜采取反变形措施，其反变形参考值见表 7.4.16-1，焊接收缩量参见表 7.4.16-2。

表 7.4.16-1 焊接反变形参考数值

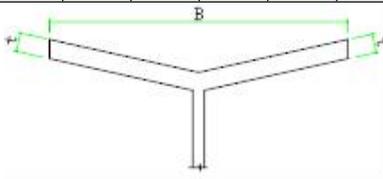
板厚 t(mm)	f(mm)  ( $\alpha+2$ )/2 反变形角度 (平均值)	B(mm)											
		150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700
													
12	1°30'40"	2	2.5	3	4	4.5	5						
14	1°22'40"	2	2.5	3	3.5	4	5	5.5					
16	1°4'	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4	4.5	5	5		
20	1°	1	2	2	2.5	3	3.5	4	4.5	4.5	5	5	
25	55'	1	1.5	2	2.5	3	3	3.5	4	4	4.5	5	5
28	34'20"	1	1	1	1.5	2	2	2	2.5	2.5	3	3.5	3.5
30	27'20"	0.5	1	1	1	1.5	1.5	2	2	2	2.5	2.5	3
36	17'20"	0.5	0.5	0.5	1	1	1	1	1.5	1.5	1.5	1.5	2
40	11'20"	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1	1	1	1	1	1

表 7.4.16-2 焊接收缩量

结构类型	焊件特征和板厚	焊缝收缩量(mm)
钢板对接	各种板厚	长度方向每米焊缝 0.7; 宽度方向每个接口 1.0
实腹结构及焊接 H 型钢	断面高小于等于 1000mm 且板厚小于 25mm	四条纵焊缝每米共缩 0.6，焊透梁高收缩 1.0，每对加劲焊缝，梁的长度收缩 0.3
	断面高小于等于 1000mm 且板厚大于 25mm	四条纵焊缝每米共缩 1.4，焊透梁高收缩 1.0，每对加劲焊缝，梁的长度收缩 0.7
	断面高大 1000mm 的 各种板厚	四条纵焊缝每米共缩 0.2，焊透梁高收缩 1.0，每对加劲焊缝，梁的长度收缩 0.5
格构式结构	屋架、托架、支架等轻型 桁架	接头焊缝每个接口为 1.0; 搭接贴角焊缝每米 0.5
	实腹柱及重型桁架	搭接贴角焊缝每米 0.25
圆筒型结构	板厚小于等于 16mm	直焊缝每个接口周长收缩 1.0;

		环焊缝每个接口周长收缩 1.0
	板厚大于 16mm	直焊缝每个接口周长收缩 2.0; 环焊缝每个接口周长收缩 2.0

**7.4.17** 在约束焊道上施焊应连续进行；当因故中断再焊时应对已焊的焊缝局部做预热处理。

**7.4.18** 采用多层焊时应将前一道焊缝表面清理干净后再继续施焊。

**7.4.19** 因焊接而变形的构件，普通低合金结构钢冷矫时工作地点温度不得低于-16℃，热矫时温度值应控制在 70℃~800℃之间，最高温度不应大于 900℃；普通碳素结构钢冷矫时工作地点温度不得低于-20℃，热矫时温度值不得超过 900℃。

**7.4.20** 因焊接而变形的构件，同一部位加热矫正不得超过 2 次，并应缓慢冷却，不得用水骤冷。

**7.4.21** 采用机器人焊接时应符合下列规定：

1 机器人及其外围设备应满足钢结构焊接的要求，相应的测量仪表应经检定、校准合格并在有效期内；

2 机器人焊接操作人员应满足下列要求：

- 1) 应具备启动电源、冷却液泵、焊枪清洁等机器人本体和外围设备的能力；
- 2) 应具备调节、使用机器人焊枪和送丝机构的能力，并应能完成焊枪、导电嘴、喷嘴、焊丝驱动辊以及焊丝的安装、更换和调节等工作；
- 3) 应熟悉机器人控制面板的操作，应能熟练操控机器人的各种动作；
- 4) 应具备机器人相关外围设备的操作使用以及维护能力；
- 5) 应具备目视检查试件焊缝的能力，并应在焊接工艺规程允许的范围内调整焊接参数；人员应有良好的焊接技术背景，对机器自动化程序和功能应有全面了解。

3 用机器人焊接构造设计应符合下列规定：

- 1) 宜选用可标准化、模块化、系列化生产及制作的构件形式；
- 2) 宜采用圆管、方钢管、H 型钢等型钢构件；
- 3) 宜减少焊缝数量；焊缝布置应简单，避免交错、汇集；焊缝形状宜为规则的直线或弧线；焊缝截面应均匀，无突变；
- 4) 焊缝坡口宜采用机械加工方式，坡口的加工精度和接头的装配精度应满足机器人焊接的要求。

4 采用机器人焊接宜在平焊、横焊、立焊位置施焊，宜避免仰焊位置焊接；

5 采用机器人焊接应进行相对应的焊接工艺评定，参加机器人焊接技能评定的人员应具有与机器人焊接工艺方法相同的操作技能；

6 机器人开机前必须确认机器人动作区域内无其他工作人员,确认设备完好才能开机;如发现机器人工作异常或焊接质量发生问题时,应立即停止工作并报修,非专业操作人员严禁接触;机器人停机后应切断设备电源,并关闭气路装置。

## 7.5 质量标准

7.5.1 焊接质量应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的规定。

7.5.2 一、二级焊缝应进行探伤检验,并应符合设计及验收标准的规定。

## 7.6 成品保护

7.6.1 焊接完成后不准磕碰焊道,不准往刚焊接完的钢材上用水骤冷,低温下应采取缓冷措施。

7.6.2 不准随意在焊缝外母材上引弧。

7.6.3 冬季焊接后不准立即清渣,应等焊缝降温后再进行。

## 7.7 注意事项

7.7.1 钢结构构件的材料应符合下列规定:

- 1 焊接材料的品种、规格、性能等应符合现行国家产品标准和设计要求;
- 2 重要钢结构采用的焊接材料应进行抽样复验,复验结果应符合现行国家产品标准和设计要求;
- 3 所用钢材及焊接材料的规格、型号、材质以及外观检查,均应符合设计图纸和规程的要求。

7.7.2 技工应严格按照焊接工艺及技术操作规程施焊,应作好质量记录。焊工应具有施焊资格。

7.7.3 建筑钢结构焊接质量检查应由专业技术人员担任,并应经岗位培训取得质量检查员岗位合格证书。

7.7.4 雪雨天气时,不应露天焊接。构件焊区表面潮湿或有冰雪时,应清除干净方可施焊。在风速大于 2.0m/s 焊接时应采取防风措施。

7.7.5 安全环保措施应符合下列规定:

- 1 施工过程应彻执行国家有关安全生产法规及施工安全规程;
- 2 应对职工进行安全生产教育和培训,掌握安全生产知识;
- 3 所有施工人员应佩戴安全帽,每天上班前应检查车间用气体的安全措施;
- 4 所有电缆、用电设备的拆除、车间照明等均由专业电工进行,电动工具应安装漏电保护器,值班电工应检查、维护用电线路及机具,保持良好状态,保证用电安全;
- 5 特殊工种必应持证上岗;

6 应采取防火措施。氧气、乙炔气、CO<sub>2</sub>气应存放在规定的安全处，并按规定正确使用，车间、工具房、操作平台等处设置足够数量的灭火器材。电焊、火焰切割时，周围环境不应有易燃物；

7.7.6 文明施工具体措施应符合下列规定：

- 1 应对施工人员进行文明施工教育，加强职工的文明施工意识；
- 2 应实行区域管理，划分责任范围，定期进行文明施工检查；
- 3 硬加强火源管理。车间不得吸烟，电、气焊及焊接作业时应清理周围的易燃物，消防工具应齐全，动火区域应安放灭火器，并定期检查；
- 4 废料应及时清理，并在指定地点堆放，保证施工场地的清洁和施工道路的畅通；
- 5 做好成品的外观及形体保护，减少污染；
- 6 施工期间应控制噪声，应合理安排施工时间，并应减少对周边环境的影响。
- 7 夜间施工灯光应向场内照射；焊接电弧应采取防护措施；
- 8 夜间施工应做好申报手续，应按政府相关部门批准的要求施工；
- 9 施工期间应使用焊烟净化器，应减少对环境的污染。

7.7.7 当设计对厚板有 Z 向性能要求时的焊接工艺措施应选择合理的工艺参数，且应符合下列规定：

- 1 引弧前焊丝端头与焊件间的距离宜为 2mm~3mm；
- 2 应剪掉粗大的焊丝端头，减小对引弧的影响；
- 3 对接焊宜采用引弧板或在距板材端部 2mm~4mm 处引弧，然后缓慢引向接缝的端头，待焊缝金属熔合后，再采用正常焊接速度前进；
- 4 一条焊缝焊完后，应将收尾处的弧坑填满；
- 5 T 型接头焊接时应根据板厚和焊角尺寸来控制焊丝的角度。如果焊角尺寸为 5mm 以上，可将焊丝水平移开离夹角处 1mm~2mm。

## 8 栓钉焊接

### 8.1 材料要求

8.1.1 栓钉应采用低碳合金钢制成，其化学成分可靠，强度稳定，可焊性、顶锻性能良好。

8.1.2 栓钉化学成份应符合表 8.1.2 的规定。

表 8.1.2 栓钉化学成分

牌号	C	Si	Mn	P	S	Al
ML15	0.13~0.18	0.15~0.35	0.30~0.60	≤0.035	≤0.035	-
ML15Al	0.13~0.18	≤0.10	0.3~0.60	≤0.035	≤0.035	≥0.020

8.1.3 栓钉机械性能应符合表 8.1.3 的规定。

表 8.1.3 栓钉机械性能

抗拉强度 $R_m$ (N/mm <sup>2</sup> )	屈服点 $R_{el}$ (N/mm <sup>2</sup> )	延伸率 A(%)
≥400	≥320	≥14

8.1.4 栓钉尺寸应符合表 8.1.4 及图 8.1.4 的规定。

表 8.1.4 栓钉尺寸(mm)

公称		6	8	10	13	16	19	22		
$d$	min	5.76	7.71	9.71	12.65	15.65	18.58	21.58		
	max	6.24	8.29	10.29	13.35	16.35	19.42	22.42		
$d_k$	min	10.65	14.65	17.65	21.58	28.58	31.5	34.5		
	max	11.35	15.35	18.35	22.42	29.42	32.5	35.5		
$k$	min	5.00	7.00	7.00	10.00	10.00	10.58	12.00		
	max	5.48	7.58	7.58	10.58	10.58	12.00	12.7		
$r$	min	2	2	2	2	2	3	3		
$WA$ (参考)		4	4	4	4	4	4	4		
公称长度 $l$		40	50	80	100	120	130	150	170	200

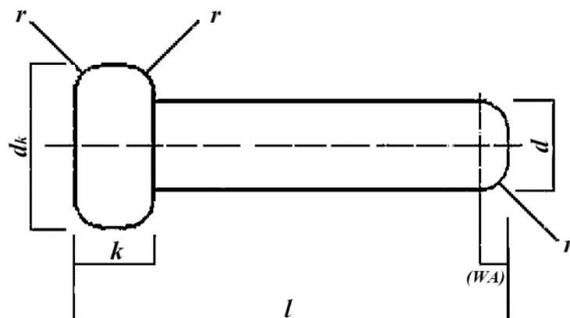


图 8.1.4 栓钉尺寸

8.1.5 瓷环应符合

下列规定：

- 1 中心孔的内外直径、椭圆度应符合要求，薄壁均匀；
- 2 不应使用已经破裂和有缺损的瓷环；

3 潮湿的瓷环应烘干后方可用于焊接,受潮瓷环应经过 120℃~150℃范围内烘焙 1h~2h,中间放潮气 5min。

## 8.2 主要机具

8.2.1 栓钉焊机应根据现场条件、供电要求、施焊数量确定焊机数量、一次线长度、稳压电源、二次线长度。宜采用专路供电。正确接入初级电压后接地应牢靠。

8.2.2 其他设备、仪器及工具宜按表 8.2.2 进行配备。

表 8.2.2 其他设备、仪器表

名称	规格	单位	用途
经纬仪	J6	台	放线
钢尺	30m	把	放线量距
盒尺	5m	把	量距
钢板尺	0.15m	把	检查栓钉
游标卡尺	精度 0.02mm、30cm	把	检查栓钉及瓷环
手锤	1kg~2kg	把	打弯检查
记号笔	细尖	盒	划线
墨汁	小型	盒	放线
火焰切割枪	中型	套	不合格时修栓钉
氧气		瓶	
乙炔		瓶	
电动砂轮	小型	把	
烘干箱	小型	台	烘烤受潮瓷环
清扫工具			

注：栓钉试验所需设备及材料未包括在本表内。

## 8.3 作业条件

8.3.1 钢结构构件表面的油漆应清除,没有水、油及其他影响焊缝质量的污渍。

8.3.2 施工所使用的栓钉和配套使用的瓷环应烘烤除湿。

8.3.3 栓钉施焊前应进行工艺参数试验(静力拉伸、反复弯曲、弯 90°角),合格。

8.3.4 当焊接作业环境温度低于 0℃且不低于-10℃时,应采取加热措施,应将焊接接头和焊接表面各方向大于或等于钢板厚度的 2 倍且不小于 100mm 范围内的母材预热到 50℃以上。

## 8.4 施工工艺

8.4.1 熔焊栓钉施工工艺应按图 8.4.1 规定的流程操作:

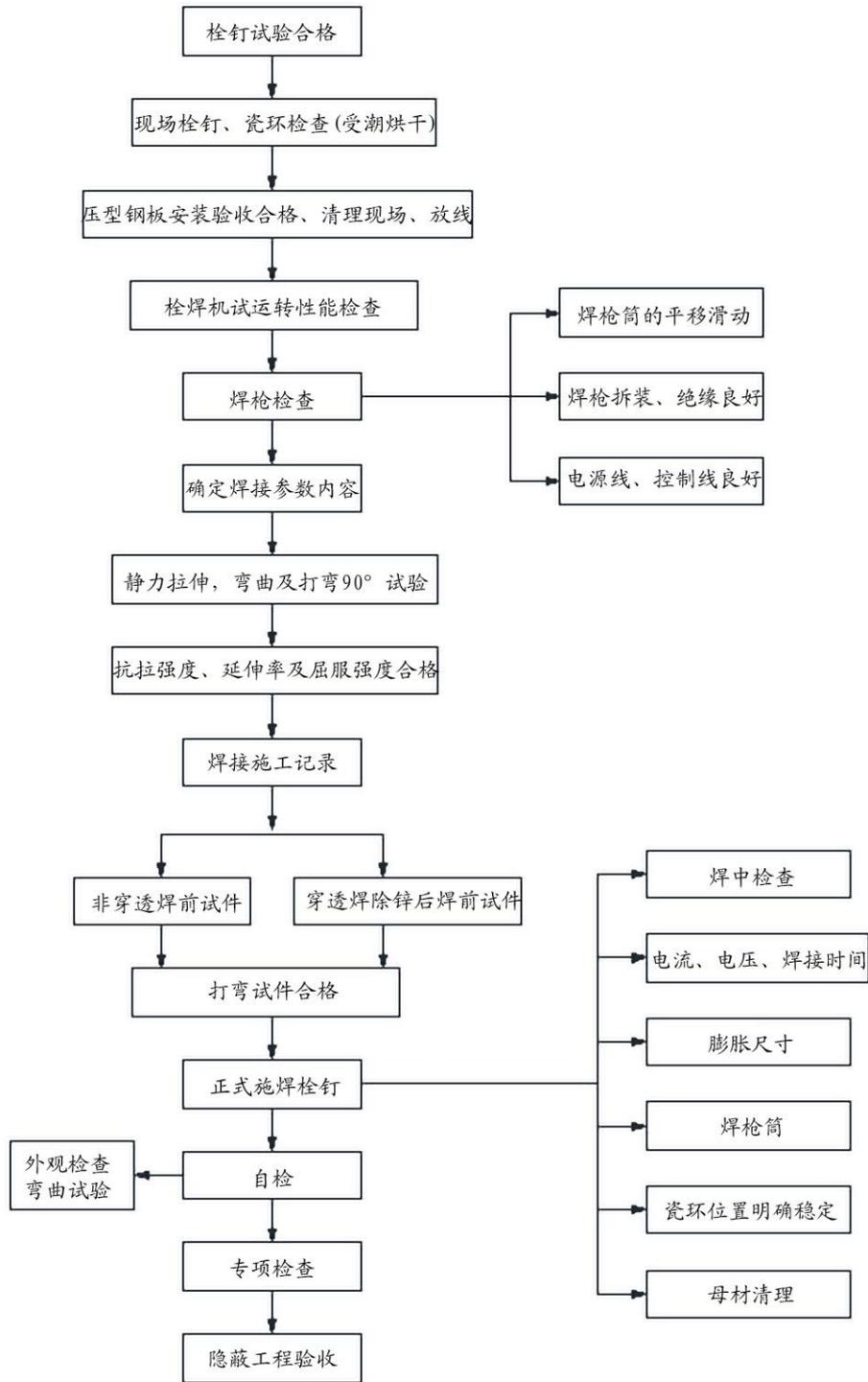


图 8.4.1 熔焊栓钉施工工艺流程图

8.4.2 焊前应完成放线、抽检栓钉及瓷环，烘干等准备工作。潮湿时焊件也应进行烘干。

8.4.3 每天正式施焊前应进行焊前试验，试焊两个试件，弯 30° 检查合格后，方可正式施焊。

8.4.4 操作时焊枪应与工件呈 90° 角，瓷环就位，焊枪夹住栓钉放入瓷环压实。

**8.4.5** 扳动焊枪开关，电流通过引弧剂产生电弧，在控制时间内栓钉融化，随枪下压，回弹、弧断，焊接完成。

**8.4.6** 焊接完成后应稍等，用小锤敲掉瓷环。

**8.4.7** 在不具备正常栓钉焊接的特殊部位，栓钉可采用焊条电弧焊方式进行焊接。栓钉施焊前，利用角磨机或钢丝刷等清污工具对施焊部位进行打磨，去除油污及氧化铁等杂质。焊接完成后应去除药皮，焊脚应均匀，不得存在气孔、夹渣等焊缝缺陷。若存在缺陷，应及时修补。

**8.4.8** 机械锚固剪力钉施焊时焊钉与连接面应保持垂直。

**8.4.9** 栓焊工艺参数应符合下列规定：

- 1 静力拉伸试验宜采用 20° 斜拉法检查拉断时的位移及抗拉强度、延伸率及屈服点；
- 2 反复弯曲试验应在一个纵向平面内反复弯曲 30° 以上焊缝周围无任何断裂现象；
- 3 在楼板中进行穿透栓钉焊（图 8.4.9）工艺参数宜按表 8.4.9 选取。

表 8.4.9 栓焊工艺参数参考表

瓷环形式	焊接电流 (A)	栓焊时间 (S)	栓钉伸出长度 (mm)	栓钉直径 (mm)	栓钉回弹高度 (mm)	阻尼调整位置	压型钢板厚度 (mm)	压型钢板间隙 (mm)	压型钢板层数(mm)	
非穿透焊	1300	0.8 0.9~1.0	5~6	Φ16	2.5	适中 适中	—	—	—	
	1350		5~6	Φ19	2.5					
	1600									
	1650									
穿透焊	1450	1.0	7~8	Φ16	3.0	适中	1.0	<1.0	1.0~2.0	
	1250	2.0								

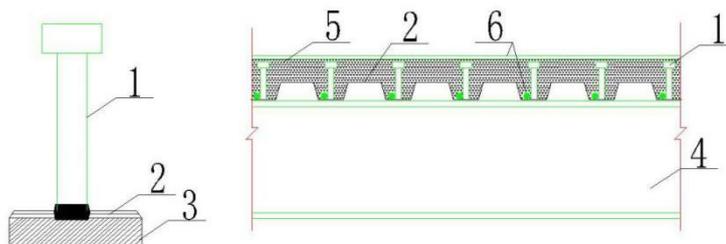


图 8.4.9 穿透型栓钉焊示意图

1—栓钉； 2—压型钢板； 3—钢梁上翼缘； 4—钢梁； 5—混凝土； 6—钢筋

## 8.5 质量标准

**8.5.1** 栓钉焊质量应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的规定。

**8.5.2** 栓钉焊接应进行焊接工艺评定，结果应符合国家现行标准的规定。

**8.5.3** 焊钉焊接后应进行弯曲试验检查，其焊缝和热影响区不应有肉眼可见的裂纹。

## 8.6 成品保护

- 8.6.1 栓钉焊接后不得磕碰，不得在刚焊接完的栓钉上浇水骤冷。
- 8.6.2 低温下焊接栓钉，应采取预热、缓冷措施。
- 8.6.3 冬季、雨季施工时，刚焊接完的栓钉，应采取措施避免雨雪的影响。

## 8.7 注意事项

- 8.7.1 焊工应具有足够的专业知识，经过培训合格后方可上岗。
- 8.7.2 不得拖拉焊枪。
- 8.7.3 高空作业应挂好安全带。
- 8.7.4 所有电缆应绝缘完好。
- 8.7.5 应做好各种安全防护，配备消防器材，焊接部位下方不得有易燃物。
- 8.7.6 潮湿母材及低温焊接时应进行烘焙干燥、升温后施工。
- 8.7.7 当母材表面温度低于 0℃时应停止作业。
- 8.7.8 当温度低于 0℃施焊时，应每 100 枚取两根作打弯试验，2 根不合格再加一根，若仍不合格应停止作业。低温焊接不准立即清渣，应使之缓慢冷却。

## 9 单层钢结构安装

### 9.1 材料要求

- 9.1.1 钢构件应验收合格。
- 9.1.2 钢结构采用高强度螺栓连接时应根据图纸要求分规格统计所需高强度螺栓的数量并配套供应至现场。应检查其出厂合格证、扭矩系数、紧固轴力或者预拉力的检验报告应齐全，并按规定作紧固轴力或扭矩系数复验。
- 9.1.3 钢结构连接件摩擦面的抗滑移系数应进行复验。
- 9.1.4 钢结构焊接施工之前应对焊接材料的品种、规格、性能进行检查，各项指标应符合现行国家标准和设计要求。检查焊接材料的质量合格证明文件、检验报告及标志等。焊接材料应按标准规定进行抽样复验。
- 9.1.5 按构件明细表核对进场构件的数量，查验出厂合格证及有关技术资料。
- 9.1.6 检查构件在装卸、运输及堆放中不应损坏或变形。损坏和变形的构件应进行矫正或重新加工。被碰坏的防腐底漆应补涂，并再次检查办理验收。
- 9.1.7 应对构件的外形几何尺寸、制孔、组装、焊接、摩擦面等进行检查做出记录。
- 9.1.8 构件应按安装顺序成套供应，现场堆放场地满足现场拼装及顺序安装的需要。在现场组拼时应搭设拼装平台。
- 9.1.9 构件分类堆放，刚度较大的构件可铺垫木水平堆放。多层叠放时垫木应在一条垂线上。钢屋架宜立放，紧靠立柱，绑扎牢固。

### 9.2 主要机具

- 9.2.1 单层钢结构安装施工所使用的主要机具包含并不限于本节中涉及的机具。
- 9.2.2 起重运输设备宜配备履带起重机、塔式起重机、汽车吊、运输汽车、叉车等。
- 9.2.3 测量设备宜配备全站仪、经纬仪、水平仪、钢尺、拉力计、温度计等。
- 9.2.4 焊接设备应准备直流焊机，交流焊机，CO<sub>2</sub>焊机，埋弧焊机，焊条烘干箱，焊剂烘干箱，小气泵等。
- 9.2.5 钢结构安装与校正应包括下列机具：
- 1 钢柱校正、构件变形校正宜选用千斤顶；
  - 2 打磨焊缝宜选用砂轮；
  - 3 其它安装与校正机具宜选用气割工具、倒链、扭矩扳手、配电箱、普通扳手、电缆线、钢丝绳、钢管脚手架、高强度螺栓扳手、滑车等。

### 9.3 作业条件

- 9.3.1** 应根据正式施工图纸及有关技术文件编制施工组织设计且已通过审批。
- 9.3.2** 应对使用的各种测量仪器及钢尺进行计量检查复验。
- 9.3.3** 应办理现场控制线和水准点交接手续。
- 9.3.4** 应按施工平面布置图划分材料堆放区、制作区、拼装区等区域，构件按吊装顺序进场。
- 9.3.5** 场地应平整夯实、并设排水沟。
- 9.3.6** 应在制作区、拼装区、安装区设置足够的电源。
- 9.3.7** 应搭好作业操作平台，并检查牢固情况。
- 9.3.8** 应放好柱顶纵横安装位置线及调整好标高。
- 9.3.9** 参与钢结构安装的安装工、测工、电焊工、起重机司机、指挥工应持证上岗。
- 9.3.10** 应检查地脚螺栓外露部分的情况，若有弯曲变形、螺牙损坏的螺栓，应对其修正。
- 9.3.11** 柱子就位前应将轴线弹测在柱基表面。
- 9.3.12** 应对柱基标高进行调整。
- 9.3.13** 钢构件宜在吊装现场就近堆放。对规模较大的工程应另设立钢构件堆放场，满足钢构件进场堆放、检验、组装和配套供应的要求，钢构件在吊装现场堆放时宜沿吊车开行线两侧按轴线就近堆放。其中钢柱和钢屋架等大件放置，宜依据吊装工艺做平面布置设计，避免现场二次倒运。
- 9.3.14** 钢构件可按吊装顺序配套供应堆放，为保证安全，堆放高度不宜超过 1.5m 且不超过三层。

## 9.4 施工工艺

- 9.4.1** 单层钢结构安装应按图 9.4.1 规定的工艺流程进行操作。
- 9.4.2** 构件吊装顺序应符合下列规定：
- 1 并列高低跨的屋盖吊装中应先高跨安装，后低跨安装；
  - 2 并列大跨度与小跨度安装中应先大跨度安装，后小跨度安装；
  - 3 并列间数多的与间数少的安装中应先吊装间数多的，后吊装间数少的；
  - 4 构件吊装宜先吊装竖向构件，后吊装平面构件。
- 9.4.3** 钢柱的安装应符合下列规定：
- 1 吊装时宜采用一点吊装法，常用的钢柱吊装法有旋转法、递送法和滑行法；
  - 2 对于重型钢柱可采用双机抬吊，在双机抬吊时应注意下列事项：

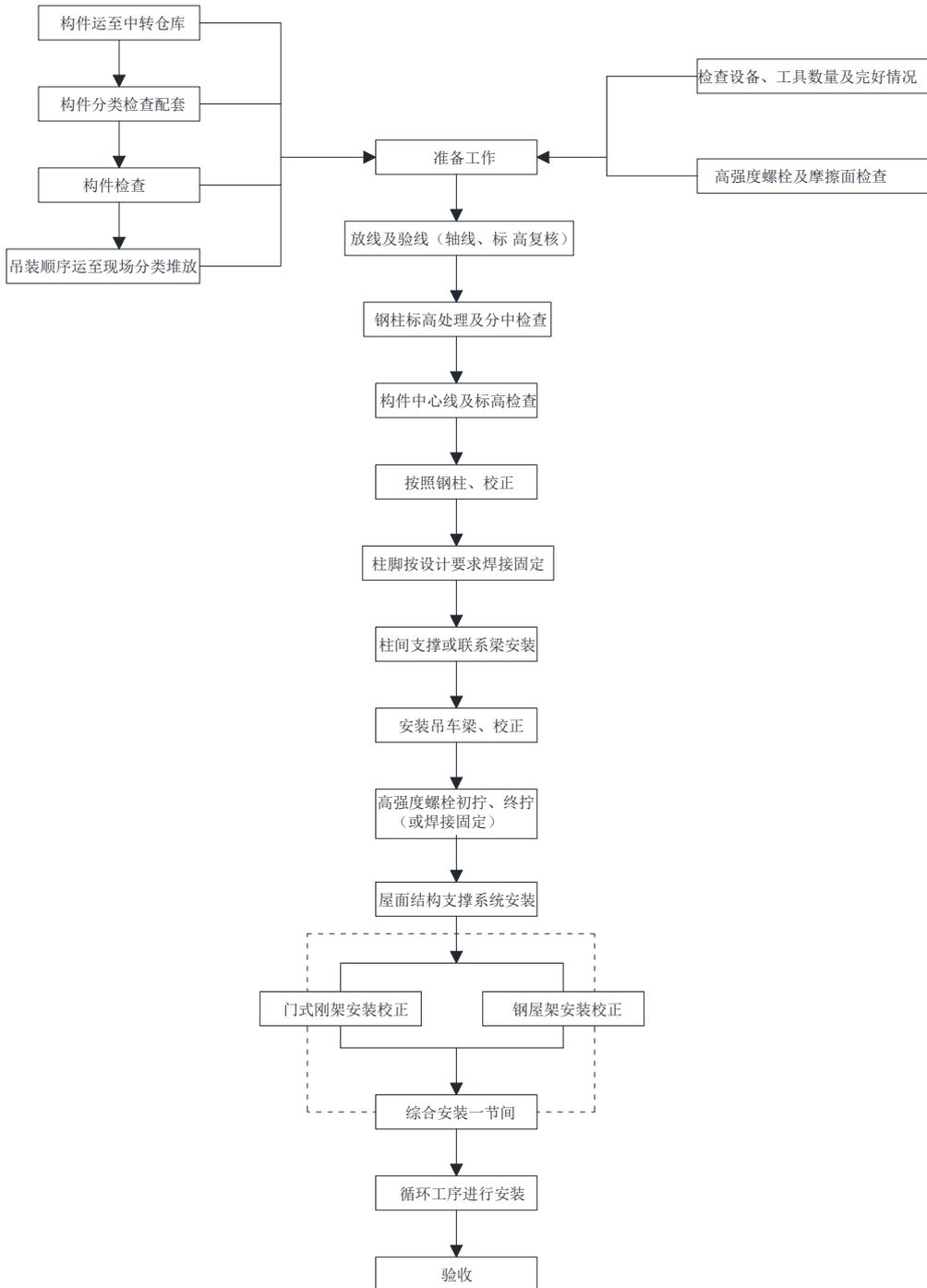


图 9.4.1 单层钢结构安装工艺流程

- 1) 宜选用同类型起重机；
- 2) 根据起重机能力对起吊点进行荷载分配；
- 3) 各起重机的荷载不宜超过其起重能力的 80%；
- 4) 双机抬吊在操作过程中应互相配合、动作协调；
- 5) 信号分指挥应听从总指挥。

#### 9.4.4 钢柱校正应符合下列规定：

1 柱基标高调整应根据钢柱实际长度、柱底平整度、钢牛腿顶部距柱底部距离等进行校正，保证钢牛腿顶部标高值，控制基础找平标高；

2 平面位置校正时，应在起重机不脱钩的情况下将柱底定位线与基础定位轴线对准缓慢落至标高位置。

#### 9.4.5 钢吊车梁的安装应符合下列规定：

1 钢吊车梁安装宜采用工具式吊耳或捆绑法进行吊装。安装前应将吊车梁的分中标记引至吊车梁的端头，吊装时应按柱牛腿的定位轴线临时定位；

2 钢吊车梁的校正应包括标高调整、纵横轴线和垂直度的调整。钢吊车梁的校正应在结构形成刚度单元后才能进行，并应符合下列规定：

1) 用经纬仪将柱子轴线投到吊车梁牛腿面等高处，据图纸计算出吊车梁中心线到该轴线的理论长度  $L_{理}$ ；

2) 每根吊车梁应测出两点，用钢尺和弹簧秤校核这两点到柱子轴线的距离  $L_{实}$ ， $L_{实}$  应等于  $L_{理}$ ，应以此对吊车梁纵轴进行校正；

3) 当吊车梁纵横轴线误差符合要求后，复查吊车梁跨度；

4) 吊车梁的标高和垂直度的校正可通过对钢垫板的调整来实现。注意吊车梁的垂直度的校正应和吊车梁轴线的校正同时进行。

9.4.6 钢屋架安装前应进行施工阶段验算，不满足要求时应采取措施（图 9.4.6）。钢屋架吊装时应满足下列要求：

1 吊点位置宜在屋架节点处，并应进行验算；

2 屋架吊装就位时应依据屋架下弦两端的定位标记和柱顶的轴线标记定位并点焊进行临时固定；

3 第一榀屋架吊装就位后应采取稳定措施，第二榀屋架就位进行屋架垂直度校正后，进行垂直支撑及水平支撑的安装。

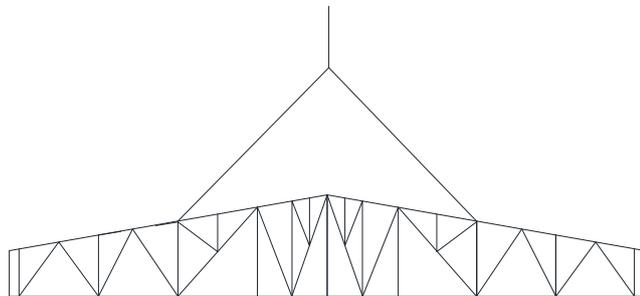


图 9.4.6 钢屋架吊装示意图

9.4.7 门式刚架安装应按图 9.4.7 规定的工艺流程进行操作。

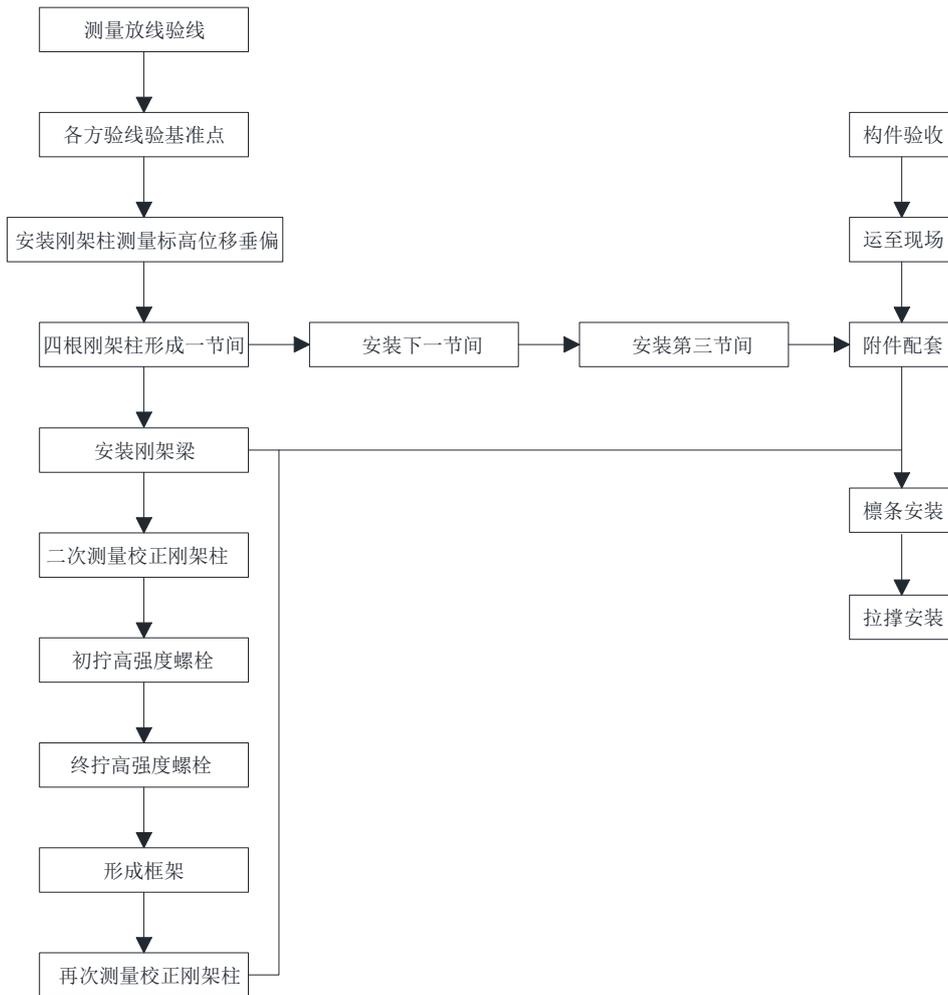


图 9.4.7 门式刚架安装工艺流程

**9.4.8** 门式刚架中单层柱的安装应进行柱顶标高调整和柱垂直度精确校正, 并应满足下列规定:

1 刚架柱标高调整时, 应先在柱身标定标高基准点, 然后采用水准仪测定其差值, 调整螺母, 当柱底板与柱基顶面高度大于 50mm 时, 几条螺栓承受压力不够时可适当加斜垫铁, 防止螺栓失稳;

2 刚架柱垂直度精确校正, 在初校正的基础上, 安装刚架梁的同时还应跟踪校正刚架柱, 当框架形成后, 再校正一次, 用缆风绳或柱间支撑固定。

**9.4.9** 门式刚架中当出现连跨时可将分成几段制作、运输, 到现场宜拼成三段, 用一台或两台起重机加可移动式拼装支架安装。

**9.4.10** 单榀门式刚架中单层柱的宜先安装左、右两侧刚架柱, 再将对应的梁从中部向两侧用高强度螺栓连接, 刚架梁连接为整体后分别与两端刚架柱采用高强度螺栓连接, 形成单跨连接体系, 重复以上步骤, 安装下一跨连接体系, 安装刚架梁间的檩条, 形成刚度单元框架体系。

## 9.5 质量标准

**9.5.1** 单层钢结构工程安装的质量验收应不低于现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的规定。

**9.5.2** 相关规定详见现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205。

## 9.6 成品保护

**9.6.1** 吊装损坏的防腐涂层应补涂，保护漆膜厚度应符合规定要求。

**9.6.2** 钢构件堆放场地应坚硬，构件堆放支垫点应合理，防构件变形。

**9.6.3** 对已检测合格的焊缝应及时刷上底漆保护。

**9.6.4** 装车时构件与构件、构件与车厢之间应妥善捆扎，防止车辆颠簸而产生构件散落。钢构件在运输车上的支点、两端伸出的长度及绑扎方法均应能保证构件不产生变形、不损伤涂层。

**9.6.5** 构件与构件间应放置一定的垫木、橡胶垫等缓冲物，防止运输过程中构件因碰撞而损坏。

**9.6.6** 散件应按同类型集中堆放，并用钢框架、垫木和钢丝绳进行绑扎固定，杆件与绑扎用钢丝绳之间放置橡胶垫之类的缓冲物；在整个运输过程中为避免涂层损坏，在构件绑扎或固定处用软性材料衬垫保护。

**9.6.7** 应避免尖锐的物体碰撞、摩擦；减少现场辅助措施的焊接量，宜采用捆绑、抱箍；现场焊接、破损的母材外露表面，在最短的时间内进行补涂装，除锈等级达到相关要求。

**9.6.8** 构件卸车用钢丝绳，在捆绑点应加软垫，不应损伤成品表面油漆。

**9.6.9** 构件卸车后应放置在垫木上，构件不应直接与地面接触，并应采取防滑动、滚动措施。

**9.6.10** 待包装或待运的钢构件，应按种类、待安装区域及发货顺序，分区整齐存放，标有识别标志，便于清点。

**9.6.11** 露天堆放的钢构件，应搁置在干燥无积水处，防止锈蚀；底层垫枕有足够的支承面，防止支点下沉；构件堆放平稳垫实。

**9.6.12** 相同钢构件的叠放时，各层钢构件的支点应在同一垂直线上。

**9.6.13** 成品应放置在垫木上，构件不应直接与地面接触，并采取一定的防滑动、滚动措施，如放置止滑块等；钢梁重叠放置不宜超过 2 层，成品堆放在指定位置。

**9.6.14** 构件堆场的四周设置警示标志。吊装作业时，在吊索绑扎位置加设半圆保护垫铁，不应损伤构件表面油漆。

**9.6.15** 预埋件预埋时，用防水布对丝口捆绑包扎，防止混凝土污染和丝牙生锈或被损坏。

**9.6.16** 构件起吊前拉设尾绳，采用旋转起吊的长构件，在构件下端地面铺设垫木，防止构件起吊时下端在地面滑动。

- 9.6.17 钢丝绳绑扎点加软垫，不应损伤构件表面油漆。
- 9.6.18 焊接区下方悬挂接火盆，防止火花灼伤下方构件表面油漆及点燃下方易燃物引起火灾。
- 9.6.19 高空作业时，随身携带的扳手、撬棍等小型工具的尾部设置系绳挂于手腕，防止坠落砸坏下方成品或出现安全事故。
- 9.6.20 构件表面油漆未干前不应转运或吊装。
- 9.6.21 构件堆放、转运及吊装时，应对捆绑或搁置部位加设软垫、垫木等保护。
- 9.6.22 构件起吊过程中，吊索具不得在构件表面滑动，不应擦伤或污染构件表面油漆。
- 9.6.23 经常检查现场吊装设备，防止设备滴油污染构件表面油漆。

## 9.7 注意事项

- 9.7.1 柱基标高调整，宜采用螺栓微调方法，应保证钢牛腿顶部标高值。
- 9.7.2 钢柱、吊车梁和门式刚架、立体桁架等钢屋架的垂偏值应在允许偏差值以内。
- 9.7.3 钢柱采用无缆风校正时，应防止初偏值过大，柱倾倒造成事故。
- 9.7.4 根据工程特点，在施工前应对吊装用的机械设备和索具、工具进行检查，如不符合安全规定不得使用。
- 9.7.5 现场用电应能满足国家现行标准《建设工程施工现场供用电安全规范》GB 50194 和《施工现场临时用电安全技术规范》JGJ 46 等的规定，电工应持证上岗。
- 9.7.6 起重机的行驶路线应坚实可靠，起重机不得停置在斜坡上工作，也不允许两个履带板一高一低。
- 9.7.7 不得超载吊装，歪拉斜吊；宜避免满负荷行驶，构件摆动越大，超负荷就越多，就可能发生事故。双机抬吊各起重机荷载，不允许大于额定起重能力的 80%。
- 9.7.8 进入施工现场应戴安全帽，高空作业应戴安全带，穿防滑鞋。
- 9.7.9 吊装作业时应统一号令，明确指挥，密切配合。
- 9.7.10 高空操作人员使用的工具及安装用的零部件，应放入随身佩带的工具带内，不可随便向下丢掷。
- 9.7.11 钢构件应堆放整齐牢固，防止构件失稳伤人。
- 9.7.12 应搞好防火工作，氧气、乙炔应按规定存放使用。电焊、气割时周围环境不应有易燃物，严防火灾发生。氧气瓶、乙炔瓶应分开存放，使用时应保持安全距离，安全距离应大于 10m。
- 9.7.13 在施工前应对高空作业人员进行身体检查，对患有心脏病、高血压、贫血等高空作业疾病的人员不得安排高空作业。

- 9.7.14** 做好防暑降温、防寒保暖和职工劳动保护工作，合理调整工作时间，合理发放劳动用品。
- 9.7.15** 雨雪天气不宜进行高空作业，如需高空作业则应采取必要的防滑、防寒和防冻措施。遇5级及以上强风、浓雾等恶劣天气，不得进行露天攀登和悬空高处作业。
- 9.7.16** 施工前应与当地气象部门联系，了解施工期的气象资料，提前做好防台风、防雨、防冻、防寒、防高温等措施。
- 9.7.17** 基坑周边、无外脚手架的屋面、梁、吊车梁、拼装平台、柱顶工作平台等处应设临边防护栏杆。
- 9.7.18** 对各种使人和物有坠落危险或危及人身安全的洞口，应设置防护栏杆，必要时铺设安全网。
- 9.7.19** 施工时不宜交叉作业，如不得不交叉作业时，不得在同一垂直方向上操作，下层作业的位置应处于依上层高度确定的可能坠落范围之外，不符合上述条件的应设置安全防护层。
- 9.7.20** 进入施工现场人员应佩戴安全帽，作业人员应佩戴安全帽、穿工作鞋和工作服；应按作业要求正确使用劳动防护用品。在2m及以上的无可靠安全防护设施的高处、悬崖和陡坡作业时，应系挂安全带。
- 9.7.21** 从事登高架设作业、起重吊装作业的施工人员应配备防止清落的劳动防护用品，应为从事自然强光环境下作业的施工人员配备防止强光伤害的劳动防护用品。

## 10 多层与高层钢结构安装

### 10.1 材料要求

**10.1.1** 在多层与高层钢结构现场施工中，安装用的焊接材料、高强度螺栓、压型钢板、栓钉等材料，应符合现行国家产品标准和设计要求。

**10.1.2** 多层与高层建筑钢结构的钢材质量应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB 700 或《低合金高强度结构钢》GB/T 1591 的规定。当设计文件采用其它牌号的结构钢时，应符合相对应的现行国家标准。

**10.1.3** 钢板和型钢表面质量应符合标准的规定。

**10.1.4** 钢板和型钢表面缺陷不允许采用焊补和堵塞处理，应用凿子或砂轮清理。清理处应平缓无棱角，清理深度不得超过钢板厚度负偏差的范围，对低合金钢还应保证不薄于其允许的最小厚度。

**10.1.5** 各施工工序所需临时支撑、钢结构拼装平台、脚手架支撑、安全防护、环境保护器材数量确认后，安排进厂制作及搭设。

**10.1.6** 应根据现场施工安排，编制钢结构件进厂计划，安排制作、运输计划。对于特殊构件的运输，如放射性、腐蚀性等的，应做好相应的措施，并到当地的公安、消防部门登记，如超重、超长、超宽的构件，还应规定好吊耳的设置，并标出重心位置。

### 10.2 主要机具

**10.2.1** 多层与高层钢结构安装施工所使用的主要机具包含并不限于本节中涉及的机具。

**10.2.2** 起重运输设备宜配备履带起重机、塔式起重机、汽车式起重机、运输汽车、叉车等。

**10.2.3** 测量检测宜配备全站仪、经纬仪、水平仪、钢尺、拉力计、温度计、超声波探伤仪、磁粉探伤、着色探伤、焊缝检查量规等。

**10.2.4** 焊接设备应配备直流焊机、交流焊机、CO<sub>2</sub> 气体保护焊机、空气压缩机、埋弧焊机、焊条烘干箱、焊剂烘干箱、小气泵等。

**10.2.5** 钢结构安装与校正应配备千斤顶、砂轮机、气割工具、倒链、索具、电动葫芦、卷扬机、扭矩扳手、配电箱、普通扳手、电缆线、钢丝绳、钢管脚手架、大六角头和扭剪型高强度螺栓扳手、高强度螺栓初拧电动扳手、栓钉机、滑车及滑车组等。

### 10.3 作业条件

**10.3.1** 已完成钢结构各节点、构件分节细节及工厂钢构件制作深化设计图纸。

**10.3.2** 根据结构深化图纸，验算钢结构框架安装时构件受力情况，并应采取相应技术措施。

**10.3.3** 各专项工种施工工艺确定，编制具体的吊装方案、测量监控方案、焊接及无损检测方案、高强度螺栓施工方案、塔吊装拆方案、临时用电用水方案、质量安全环保方案审核完成。

- 10.3.4** 应已完成焊接工艺试验、压型钢板施工及栓钉焊接检测等工艺试验。
- 10.3.5** 对钢筋混凝土基面进行测量技术复核。应复核每个螺栓的轴线、标高，对超过标准要求的，应采取相应的补救措施已完成。
- 10.3.6** 施工前应对现场周边交通状况进行调查，确定大型设备及钢构件进厂路线。
- 10.3.7** 施工临时用电用水应铺设到位。
- 10.3.8** 参与钢结构安装的所有操作人员进场前应进行上岗前培训，取得相应资质的上岗证书，做到持证上岗。电焊工、起重工、塔吊操作工、塔吊指挥工等特种操作人员应取得特殊工种相关证件。
- 10.3.9** 施工机具安装调试验收合格。
- 10.3.10** 构件应按吊装进度计划配套进厂，运至现场指定地点，构件进厂验收检查。
- 10.3.11** 施工前应对项目属地周边的相关部门进行治安、交通、绿化、环保、文保、电力、气象等方面协调，并到当地的气象部门去了解以往年份每天的气象资料，做好防台风、防雨、防冻、防寒、防高温等措施。
- 10.3.12** 钢结构堆场或中转堆场的选址应符合下列规定：
- 1 堆场宜靠近工程现场，应满足运输车辆的要求；
  - 2 场地应平整，并应有电源、水源和排水管道，堆场的面积应满足工程进度需要；
  - 3 钢构件堆场应在吊机半径范围内，宜布置专用的构件卸料吊机。

## 10.4 施工工艺

- 10.4.1** 多层与高层钢结构安装应按图 10.4.1 规定的工艺流程进行操作。

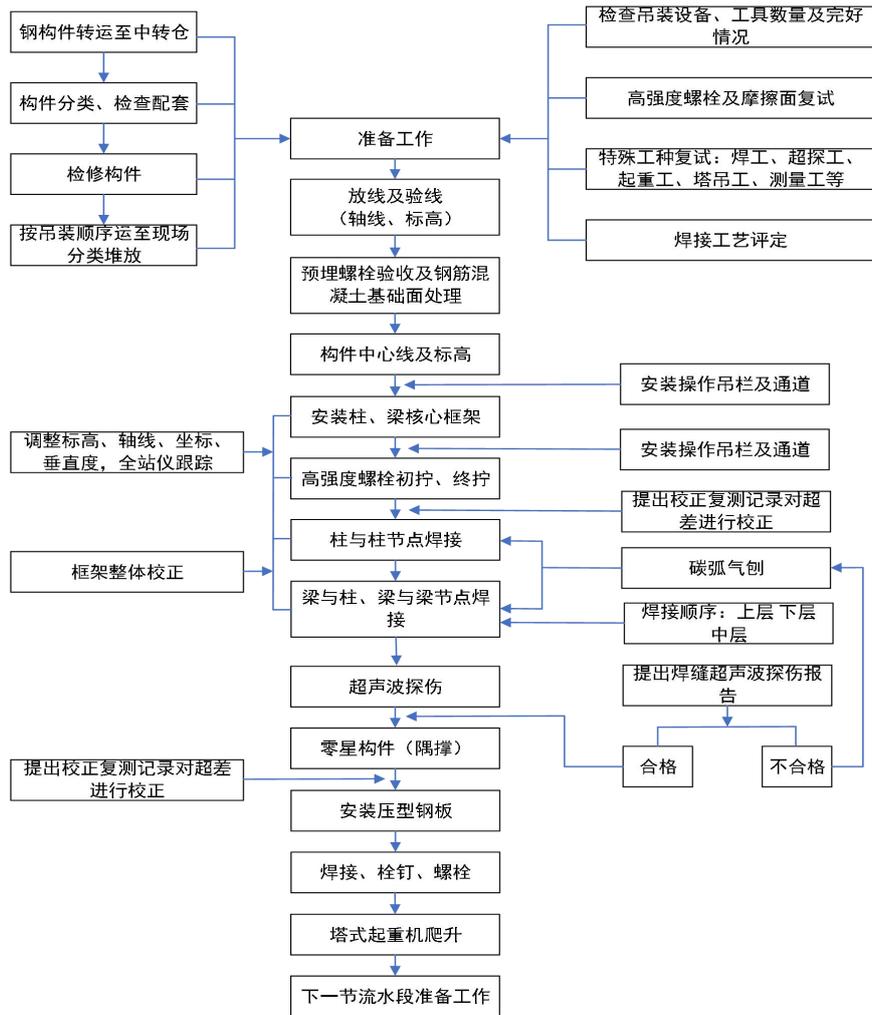


图 10.4.1 多层与高层钢结构安装工艺流程图

#### 10.4.2 钢构件吊装顺序应符合下列规定:

1 吊装应划分吊装作业区域, 钢结构吊装按划分的区域, 平行顺序同时进行吊装。当一片区吊装完毕后, 即进行测量、校正、高强度螺栓初拧等工序, 待几个片区安装完毕后, 对整体再进行测量、校正、高强度螺栓换装、初终拧、焊接。焊后复测完, 接着进行下一节钢柱的吊装。并根据现场实际情况进行本层压型钢板吊放和部分铺设工作等;

2 预埋螺栓中心偏移允许偏差宜为 $\pm 5\text{mm}$ , 支承面的偏差宜为在 $\pm 3\text{mm}$ ;

3 应对整个建筑从高度方向划分流水段, 宜以每节框架为单位即一柱 N 层划分。每节流水段或每节框架内应在平面上划分流水区。应把混凝土筒体和塔式起重机爬升区划分为一个主要流水区; 余下部分的区域, 划分为次要流水区; 当采用两台或两台以上的塔式起重机施工时, 应按不同的起重半径划分各自的施工区域。应将主要部位安排在先行施工的区域。

10.4.3 结构安装宜以每节钢柱形成的框架为单位, 划分多个流水作业段, 并应符合下列规定:

1 吊装机械的起重性能应满足流水段内的最重构件的吊装要求;

- 2 塔式起重机爬升高度应满足下一节流水段的构件起吊高度；
- 3 每节流水段内的柱长度应根据工厂加工、运输堆放、现场吊装等因素确定，长度宜取 2 个~3 个楼层高度，分节位置宜在梁顶标高以上 1.0m~1.3m 处；
- 4 流水段的划分应与土建施工相适应；
- 5 每节流水段可根据结构特点和现场条件在平面上划分流水进行施工；
- 6 特殊流水区的划分应符合设计文件的要求。

**10.4.4** 标准节框架的安装宜采用节间综合安装法和按构件分类的大流水安装法，并应符合下列规定：

- 1 框架吊装时，可采用整个流水段内先柱后梁或局部先柱后梁的顺序，并应先组成主框架；应避免单柱长时间处于悬臂状态；
- 2 钢楼板及钢筋桁架楼承板安装应与构件吊装进度同步；
- 3 特殊流水作业段内的吊装顺序应按安装工艺确定，并应满足设计文件的要求。

**10.4.5** 高层钢结构安装的测量校正应按流水段进行，并应符合下列规定：

- 1 每节钢柱的控制轴线 应从基准控制轴线的转点引测，不得从下层柱的轴线引出；
- 2 钢结构安装时，应分析日照、焊接等因素可能引起的构件伸缩或变形，并应采取相应措施。安装过程中，宜对下列项目进行观测，并应作记录：
  - 1) 柱、梁焊接收缩引起柱身垂直度偏差值；
  - 2) 钢柱受日照温差、风力影响的变形；
  - 3) 塔吊附着或爬升对结构垂直度的影响。

3 同一层柱的各柱顶高度差不得大于 5mm，钢柱的标高差不得大于  $L/1000$ ( $L$  为宽度)且不大于 5mm,上、下柱连接处的错位不得大于 3mm，钢柱垂直度偏差不得大于  $L/1000$  且不大于 5mm。

4 主体结构整体垂直度的允许偏差应为  $H/2500+10\text{mm}$ ( $H$  为高度), 但不应大于 50.0mm；整体平面弯曲允许偏差应为  $L/1500$ ，且不应大于 250mm；对于体型复杂的结构体系，应由建设、设计、监理施工等有关单位共同讨论确定允许偏差值。

**10.4.6** 钢柱的校正应符合下列规定：

- 1 钢柱的测量校正仪器宜采用激光经纬仪或高精度的经纬仪；
- 2 钢柱的测量校正工具宜采用钢丝绳缆索、液压千斤顶、钢楔、倒链等；
- 3 应在全部柱测量校正完毕并填写校正记录后，终拧柱与柱、柱与梁之间的高强度螺栓。

**10.4.7** 斜柱的校正应符合下列规定：

- 1 在下节立柱的顶部和上节底部对应位置应分别划线；
- 2 倾斜钢柱柱顶空间位置应采用全站仪坐标法测控；
- 3 校正完成后应复核钢柱相应连接牛腿位置及钢柱的扭转偏差。

**10.4.8** 高层钢结构，每安装一节钢柱后，应对柱顶作一次标高实测，标高偏差值超过 5mm 应进行调整，调整应符合下列规定：

- 1 一次调整不宜超过 5mm；
- 2 钢柱的截短、填板的制作，应在制作厂内完成；
- 3 安装时柱顶标高宜控制在负公差内。

**10.4.9** 同一流水作业段、同一安装高度的一节柱，当各柱的全部构件安装、校正、连接完毕并验收合格后，应再从地面引放上一节柱的定位轴线。

**10.4.10** 对于立面呈倾斜或扭曲形式的不规则高层钢结构，结构在竖向荷载作用下产生的水平变形较大时，应进行平面内变形控制，水平预变形量值应通过设计计算确定。

**10.4.11** 多层及高层钢结构安装时，楼层标高可采用相对标高或设计标高进行控制，当采用设计标高控制时，应以每节柱为单位进行柱标高调整，并使每节柱的标高符合设计的要求。

## 10.5 质量标准

**10.5.1** 多层与高层钢结构安装的质量验收应不低于现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的规定。

**10.5.2** 钢构件变形、涂层脱落以及设计要求顶紧的节点等应与单层钢结构安装质量要求相同。

**10.5.3** 结构形式简单的锚栓可直接固定在钢筋骨架上，结构形式复杂的锚栓应设计型材支架，特别复杂的柱脚可设计两层定位板，确保锚栓精度，顶层定位板在混凝土浇筑完成后拆除。锚栓支架设计时应建模放样，确保锚栓、支架、钢筋不发生碰撞。

**10.5.4** 锚栓顶部应用胶带缠绕封闭，保护锚栓丝扣，防止混凝土及后续施工作业造成污染。混凝土浇筑完成后，应对锚栓位置进行复核，有偏差的应在混凝土初凝前调整到位。

**10.5.5** 基础筏板底筋及面筋绑扎完成后，移交工作面，钢结构定位焊接锚板，下插锚栓并与土建钢筋支撑架点焊固定，支撑面水平度偏差不得大于  $L/1000$ ，支撑面标高允许偏差不大于 3mm，螺栓中心偏移偏差不大于 5mm。

**10.5.6** 钢柱进场后进行卸车，将钢柱平稳堆放在堆场枕木上，并进行构件验收，确保构件质量满足要求。

**10.5.7** 采用一档起吊，吊起后往安装位置移动，不应拖拉构件。钢柱吊离地面 1m 左右时暂停起吊，观察吊装应正常，确认无问题后，逐步增档加速起吊。在起吊过程中应观察周边

情况和摆幅距离，当受风力影响摆幅过大或视线不清晰时应停止吊装，待稳定后再缓慢起吊提升或摆臂转动，不应发生碰壁。可使用溜绳辅助调整钢梁空中姿态。

**10.5.8** 结构的楼层标高可按相对标高进行。安装第一节柱时从基准点引出控制标高并标在混凝土基础或钢柱上，以后每次上引标高均以此标高为基准，确保每层结构标高符合设计要求。

**10.5.9** 焊接人员要求有特殊工种上岗证，正式焊接前，应进行现场考核，控制其焊接质量。项目部技术人员及质检人员应明确焊缝要求，据此进行检查。

**10.5.10** 相关规定详见现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205。

## 10.6 成品保护

**10.6.1** 场地应平整、牢固、干净、干燥，钢构件堆放分类堆放整齐，下垫枕木，叠层堆放也应垫枕木，并应做到防止变形、牢固、防锈蚀。

**10.6.2** 不得对已完工构件任意焊割，空中堆物，对施工完毕并经检验合格的焊缝、节点板处马上进行清理，并按要求进行封闭。

**10.6.3** 上、下节钢柱之间的连接耳板待全部焊接完成后进行割除。割除时应预留约 5mm，然后再打磨平滑，并涂上防锈漆。

## 10.7 注意事项

**10.7.1** 高强度螺栓、栓钉、焊条、焊丝等应堆放在库房的货架上，最多不超过四层。

**10.7.2** 在多层与高层钢结构工程现场施工中，吊装机具的选择，吊装方案、测量监控方案、焊接方案等应在施工前确定并审批完成。

**10.7.3** 对焊接节点处应严格按无损检测方案进行检测，应作好高强度螺栓连接副和高强度螺栓连接件抗滑移系数的试验报告。钢结构安装过程中应作好测量监控。

**10.7.4** 攀登和悬空作业人员，应经过专业培训及专业考试合格，持证上岗，并应定期进行专业知识考核和体格检查。

**10.7.5** 施工中对高空作业的安全技术措施，发现有缺陷和隐患时，应及时解决；危及人身安全时，应停止作业。

**10.7.6** 雨天和雪天进行高空作业时，应采取可靠的防滑、防寒和防冻措施。对于水、冰、霜、雪均应及时清除。

**10.7.7** 防护栏杆、洞口防护设施具体做法及技术要求，应符合现行行业标准《建筑施工高处作业安全技术标准》JGJ 80 有关规定。

**10.7.8** 钢柱安装登高时，应使用钢挂梯或设置在钢柱上的爬梯。钢柱安装时应使用梯子或操作台。

**10.7.9** 登高安装钢梁时，应视钢梁高度，在两端设置挂梯或搭设钢管脚手架。

- 10.7.10** 悬空作业人员，应戴好安全带。
- 10.7.11** 结构安装过程中，各工种进行上下立体交叉作业时，不得在同一垂直方向上操作。
- 10.7.12** 起重机的行驶道路，应坚实可靠。
- 10.7.13** 不得超载吊装、斜吊。
- 10.7.14** 双机抬吊，应根据起重机的起重能力进行合理的负荷分配（每台起重机的负荷不应超过其安全负荷的 80%），并在操作时应统一指挥。
- 10.7.15** 绑扎构件的吊索应经过计算，所有起重工具，应定期进行检查，对损坏的做出鉴定。
- 10.7.16** 过大的风载会造成起重机倾覆，工作完毕轨道两端设夹轨钳，遇有台风警报，塔式起重机应拉好缆风。
- 10.7.17** 塔式起重机应安有起重量限位器、高度限位器、幅度指示器、行程开关等，防止安全装置失灵而造成事故。
- 10.7.18** 群塔作业，两台起重机之间的最小距离，应保证在最不利位置时，任一台的起重臂不会与另一台的塔身、塔顶相碰，并至少有 2m 的安全距离；应避免两台起重臂在垂直位置相交。
- 10.7.19** 操作人员在进行高处作业时，应正确使用安全带。
- 10.7.20** 在雨季、冬季里，构件上应采取清扫积雪后再安装，高空作业人员应穿防滑鞋方可操作。
- 10.7.21** 地面操作人员应戴安全帽。
- 10.7.22** 高空作业人员使用的工具及安全带的零部件，应放入随身携带的工具袋内，不可随便向下丢掷。
- 10.7.23** 在高空用气割或电焊切割时，应采取措施防止割下的金属或火花落下伤人。
- 10.7.24** 使用塔式起重机或长吊杆的其它类型起重机时，应有避雷防触电设施。
- 10.7.25** 各种起重机不得在架空输电线路下面工作，在通过架空输电线路时，应将起重臂落下，并确保与架空输电线的垂直距离。不得带电作业。
- 10.7.26** 氧气、乙炔应按规定存放使用。电焊、气割时周围环境不应有易燃物，严防火灾发生。氧气瓶、乙炔瓶应分开存放，使用时应保持安全距离，安全距离应大于 10m。
- 10.7.27** 使用电气设备和化学危险物品，应符合技术标准和操作规程，严格防火措施、确保安全，不得违章作业。

## 11 高强度螺栓连接

### 11.1 材料要求

**11.1.1** 根据钢结构深化设计图，按照高强度螺栓的类别、性能等级、规格及长度统计施工实际需要的高强度螺栓的数量，进行采购。

**11.1.2** 高强度螺栓连接副应按批配套进场，并附有出厂质量保证书，应符合设计要求和现行国家标准《钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件》GB/T 1231 和《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副》GB/T 3632 的规定。

**11.1.3** 高强度螺栓连接副进场验收应包括下列内容：

- 1 应检查产品质量合格证明文件；
- 2 应检查性能等级、批号、规格和数量；
- 3 应检查外观质量。

**11.1.4** 高强度螺栓连接副应按规定进行见证取样、送样、复验，复验合格后才能安装使用。

**11.1.5** 高强度螺栓连接副的保管时间不应超过六个月，否则应按要求重新取样进行扭矩系数或紧固轴力复验，合格后方可使用。

### 11.2 主要机具

**11.2.1** 高强度螺栓施工应根据不同的施工条件选择适合的规格、型号的扭矩扳手进行高强度大六角头螺栓和扭剪型高强度螺栓施工：

- 1 扭剪型高强度螺栓用扳手应包括初拧扭剪扳手和专用扭剪扳手；
- 2 大六角头高强度螺栓用扳手应包括手动扭矩扳手和电动扭矩扳手。大六角头高强度螺栓施工所用的扭矩扳手，班前应校正，其扭矩相对误差应为 $\pm 5\%$ ，合格后方准使用。

**11.2.2** 通用机具和手动工具应包括：

- 1 检测合格的扭矩扳手，专用于其它施工工具的校准，校正用的扭矩扳手，扭矩相对误差应为 $\pm 3\%$ ；
- 2 过眼冲钉、手锤、铰刀、电动砂轮机和钢丝刷等工具。

### 11.3 作业条件

**11.3.1** 高强度螺栓安装前，应按现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的规定复验合格。

**11.3.2** 钢结构制作和安装单位应按现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的规定分别进行高强度螺栓连接摩擦面的抗滑移系数试验和复验。

**11.3.3** 高强度螺栓初拧扭矩和终拧扭矩应按现行行业标准《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82 要求确定。

11.3.4 应编制高强度螺栓施工方案和技术交底。

11.3.5 各种机具准备齐全，应调试验收合格。

11.3.6 所有操作工人应进行施工前培训。

11.3.7 钢结构安装的某一流水段内的钢构件吊装完成，钢柱、梁全部校正合格。

## 11.4 施工工艺

11.4.1 高强度螺栓连接安装应按图 11.4.1 规定的工艺流程进行操作：

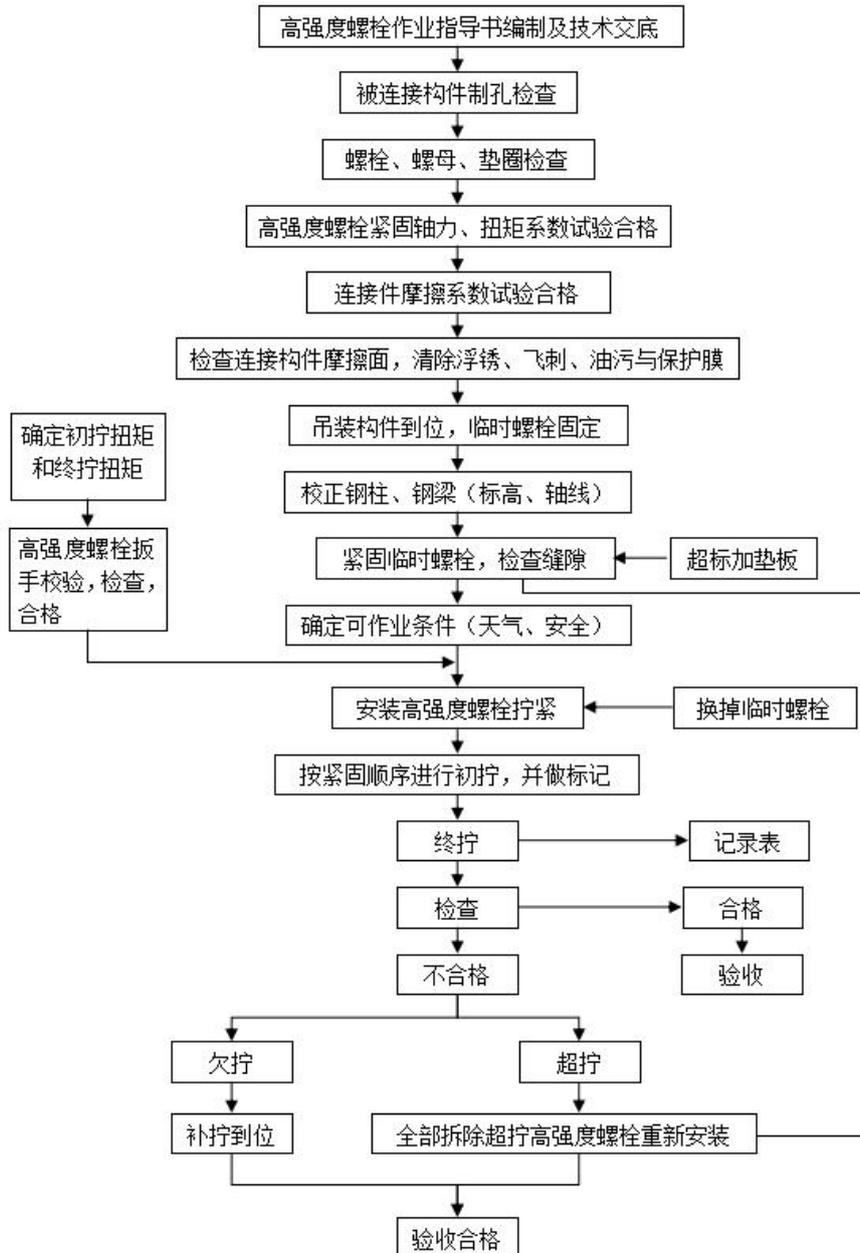


图 11.4.1 高强度螺栓连接安装工艺流程

11.4.2 高强度螺栓的储运、保管和发放应符合下列规定：

- 1 高强度螺栓连接副在运输和保管过程中，应轻装、轻卸，防止损伤螺纹；

2 储存高强度螺栓时，应放在干燥、通风、防雨、防潮的仓库内，防止生锈、沾染赃物。高强度螺栓连接副入库应按包装箱注明的规格、批号分类存放，在安装使用前不得随意开箱；

3 在发放、使用环节应区分高强度螺栓批号，并做好登记。安装时，应按使用部位，领取相应规格、数量、批号的连接副，当天没有用完的螺栓，应装回干燥、洁净的容器内，入库登记，妥善保存。

#### 11.4.3 高强度螺栓连接施工应符合下列规定：

- 1 高强度螺栓连接副应按批配套进场，并应在同批内配套使用，不得混批使用；
- 2 使用前应进行外观检查，表面油膜正常无污染、丝扣完好无损的螺栓方可使用。使用过程中，不得雨淋，不得接触泥土、油污等赃物；
- 3 检查连接构件摩擦面，将浮锈、飞边、毛刺、油污、油漆和保护膜清除干净；
- 4 高强度螺栓连接副组装时，螺母带圆台面的一侧应朝向垫圈有倒角的一侧。大六角头高强度螺栓连接副组装时，螺栓头下垫圈有倒角的一侧应朝向螺栓头；
- 5 高强度螺栓连接安装的穿入方向应以施工方便为准，并力求一致；
- 6 安装高强度螺栓时，构件的摩擦面应保持干燥，不得在雨中作业；
- 7 高强度螺栓在终拧后，螺栓外露丝扣应为 2 扣~3 扣；
- 8 高强度螺栓连接副的初拧、复拧和终拧宜在一天内完成，并做好施工过程记录。

11.4.4 在钢柱、梁吊装就位，轴线、标高、垂直度初步校正后，对每一个连接接头，应先用临时螺栓或冲钉定位，不得把高强度螺栓作为临时螺栓使用。临时定位用的螺栓和冲钉的数量，应根据该接头可能承担的载荷计算确定，并应符合下列规定：

- 1 临时螺栓不得少于两个；
- 2 不得少于节点螺栓总数的 1/3；
- 3 穿入冲钉数量不宜多于临时螺栓数量的 30%。

11.4.5 当一个楼层或一个施工流水段的钢构件吊装就位、安装精度调整后，方可进行高强度螺栓连接安装、拧紧。

11.4.6 大六角头高强度螺栓连接副施拧可采用扭矩法或转角法。

1 当采用扭矩法施工时，应符合下列规定：

1) 施工用的扭矩扳手使用前应进行校正，其扭矩相对误差不得大于 $\pm 5\%$ ；矫正用的扭矩扳手，其扭矩相对误差不得大于 $\pm 3\%$ ；

2) 施拧时，应在螺母上施加扭矩；

3) 施拧分为初拧和终拧，对于大型节点应分为初拧、复拧、终拧。初拧扭矩和复拧扭矩为终拧扭矩的 50%左右。终拧扭矩值应按式（11.4.6）计算：





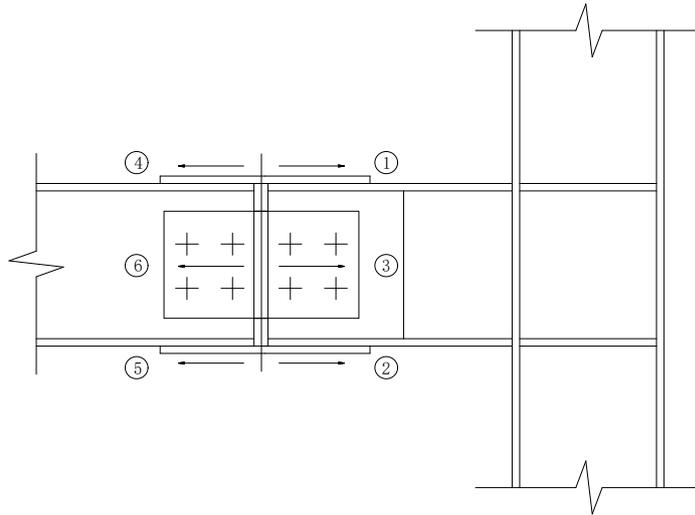


图 11.4.8-3 H 型梁接头

- 4) 全螺栓连接的 H 型柱节点高强度螺栓紧固顺序为先翼缘后腹板；
- 5) 两个或多个接头螺栓群的拧紧顺序应先主要构件接头，后次要构件接头。

11.4.9 因板厚不同、制作或安装偏差等产生的接触面间隙应按表 11.4.9 规定进行处理。

表 11.4.9 接触面间隙处理

项目	示意图	处理方法
1		$\Delta < 1\text{mm}$ 时不处理
2		$\Delta = (1.0 \sim 3.0)\text{mm}$ 时将厚板一侧磨成 1:10 缓坡，使间隙小于 1mm
3		$\Delta > 3.0\text{mm}$ 时应加垫板，垫板厚度不小于 3mm，最多不超过 3 层，垫板材质、摩擦面处理方法与构件相同

11.4.10 露天使用或接触腐蚀性气体的钢结构，在高强度螺栓拧紧检查验收合格后，连接处板缝应及时用防腐腻子封闭。

11.4.11 高强度螺栓安装时应能自由穿入螺栓孔，不得强行穿入。如果螺栓不能自由穿入孔，不得火焰切割扩孔。应按下列方法处理：

- 1 当螺栓孔偏差不大时，该孔应用铰刀进行修整，修整后孔的最大直径不应大于 1.2 倍螺栓直径，且修孔数量不应超过该节点螺栓数量的 25%。修孔前应将四周螺栓全部拧紧，使板迭密贴后再进行铰孔；

- 2 当螺栓孔偏差较大，该孔应补焊后重新钻孔。清除孔边毛刺，用砂轮进行局部打磨摩擦面。补焊时，应用与母材相匹配的焊材补焊，不得用钢筋、钢块、焊条等堵塞。每组孔中经补焊重新钻孔的数量不得超过该组螺栓数量的 20%，处理后的孔应作好记录。

## 11.5 质量标准

## I 主控项目

**11.5.1** 钢结构制作单位和安装单位应分别进行高强度螺栓连接摩擦面（含涂层摩擦面）的抗滑移系数试验和复验，现场处理的构件摩擦面应单独进行摩擦面抗滑移系数试验，其结果应满足设计要求。

**11.5.2** 涂层摩擦面钢材表面处理应达到 Sa2.5，涂层最小厚度应满足设计要求。

**11.5.3** 高强度螺栓连接副应在终拧完成 1h 后、48h 内进行质量检查，检查结果应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 附录 B 的规定。并做好质量验收记录。

**11.5.4** 对于扭剪型高强度螺栓连接副，除因构造原因无法使用专用扳手拧掉梅花头外，螺栓尾部梅花头拧断为终拧结束。未在终拧中拧掉梅花头的螺栓数不应大于该节点螺栓数的 5%，对所有梅花头未拧掉的扭剪型高强度螺栓连接副应采用扭矩法或转角法进行终拧并做标记，且按现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的规定进行终拧质量检查。

## II 一般项目

**11.5.5** 高强度螺栓连接副的施拧顺序和初拧、终拧扭矩应满足设计要求并符合现行行业标准《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82 的规定。

**11.5.6** 高强度螺栓连接副终拧后，螺栓丝扣外露应为 2 扣~3 扣，其中允许有 10% 的螺栓丝扣外露 1 扣或 4 扣。

**11.5.7** 高强度螺栓连接摩擦面应保持干燥、整洁，不应有飞边、毛刺、焊接飞溅物、焊疤、氧化铁皮、污垢等，除设计要求外摩擦面不应涂漆。

**11.5.8** 高强度螺栓应能自由穿入螺栓孔，当不能自由穿入时，应用铰刀修正。修孔数量不应超过该节点螺栓数量的 25%，扩孔后的孔径不应超过螺栓直径的 1.2 倍。

## 11.6 成品保护

**11.6.1** 在对构件进行油漆涂装前，应采取可靠措施将摩擦面包裹好。经摩擦面处理后的构件和连接件在搬运、存放过程中，不损坏、污染摩擦面。不得在高强度螺栓连接处摩擦面上作标记。

**11.6.2** 安装前，应确保高强度螺栓连接副不被污染、生锈、受潮；安装后，不允许对高强度螺栓进行焊接、用火焰切割梅花头等。

**11.6.3** 对于露天使用或接触腐蚀性气体的钢结构，在高强度螺栓拧紧检查验收合格后，连接处板缝、螺栓头、螺母、垫圈周边应及时涂抹防腐腻子（如过氯乙烯腻子等）封闭。

**11.6.4** 在高强度螺栓连接副终拧质量检查验收合格后，应按要求及时涂刷防腐油漆。

## 11.7 注意事项

**11.7.1** 技术质量方面应注意下列事项：

1 单项工程的构件摩擦面选用两种及两种以上表面处理工艺时，每种表面处理工艺都应检验，检验结果应符合设计要求；

2 施工现场采用手工砂轮打磨处理摩擦面时，打磨方向应与受力方向垂直，且打磨范围不应小于螺栓孔径的4倍；

3 高强度螺栓连接副的初拧、复拧、终拧，宜在24h内分步完成，不得一步到位直接完成终拧；

4 当高强度螺栓孔出现偏差时，不得用火焰切割进行扩孔。不得用火焰切割螺栓梅花头；

5 高强度螺栓紧固时不得超拧，避免漏拧和欠拧。对发现超拧的高强度螺栓应及时更换并废弃换下来的螺栓，对发现欠拧的高强度螺栓应按要求完成终拧，对发现漏拧的高强度螺栓应按要求进行初拧和终拧。

#### 11.7.2 安全文明施工方面应注意下列事项：

1 现场应严格执行临时用电规定，高强度螺栓施工机具的接电口，应有防雨、防漏电的保护装置，防止施工人员高空触电；

2 高空操作人员使用的工具及安装用的零部件，应放入随身携带的工具袋内，不可随便向上下丢抛。手动工具如手锤、梅花扳手、冲钉等应用小绳拴在施工人员的腰间；

3 拧下来的扭剪型高强度螺栓梅花头应随手放入专用的收集袋内，避免坠落伤人。

## 12 楼承板安装

### 12.1 材料要求

**12.1.1** 楼承板分为压型钢板楼承板与钢筋桁架楼承板两大类型。楼承板材料的技术指标应符合现行有关规范、标准与施工图等设计文件的规定，楼承板材料的规格与尺寸应符合施工图与深化设计图的规定。

**12.1.2** 压型钢板楼承板分为开口型压型钢板、缩口型压型钢板与闭口型压型钢板。压型钢板楼承板的原材料采用热浸镀锌板，其材料性能应符合现行国家标准《连续热镀锌钢板和钢带》GB/T 2518 的规定，其成型质量应符合现行国家标准《建筑用压型钢板》GB/T 12755 的规定。

**12.1.3** 钢筋桁架楼承板分为焊接式钢筋桁架楼承板、可拆底模钢筋桁架楼承板与免拆底模钢筋桁架楼承板，其中，钢筋桁架的材料性能与技术要求应符合现行行业标准《钢筋桁架楼承板》JG/T 368 的规定。

1 底模采用压型钢板时，压型钢板材料性能与成型质量应符合现行国家标准《连续热镀锌钢板和钢带》GB/T 2518、《建筑用压型钢板》GB/T 12755 的规定；

2 底模采用竹胶合板时，竹胶合板材料性能与成型质量应符合现行行业标准《竹胶合模板》JG/T 156 与产品标准的有关规定；

3 底模采用纤维水泥板时，纤维水泥板材料性能应符合现行行业标准《纤维水泥平板 第1部分：无石纤维水泥平板》JC/T 412.1 与产品标准的规定；

4 可拆底模钢筋桁架楼承板与免拆底模钢筋桁架楼承板采用的专用连接件副的技术性能应符合产品标准的要求。

**12.1.4** 楼承板按单捆包装，单捆高度不超过 1300mm，单包装捆的重量需与施工现场吊装设备的起吊能力相匹配。楼承板的每个包装捆需附带捆标签，捆标签包括项目名称、该捆楼承板的施工楼层、施工区域，以及楼承板的型号、规格尺寸、数量。包装捆的标签宜附加包含该捆信息的二维码。

### 12.2 主要机具

**12.2.1** 楼承板按单个包装捆吊装，施工现场需配备塔吊、汽吊或其他类型的吊装设备，按照最大包装捆重量配备软吊带。

**12.2.2** 焊接设备宜配备交流弧焊机、栓钉焊机等，数量依据工作面、施工人员数量等情况合理配置。

**12.2.3** 切割设备宜配备等离子切割机。

**12.2.4** 其他宜配备钢尺、墨斗等定位放线设备。

### 12.3 作业条件

**12.3.1** 施工前应熟悉施工图、深化设计图等设计文件，了解设计意图，并参照与项目相关的施工规范和技术标准，对所有操作工人进行技术交底和岗前培训。

**12.3.2** 施工前应根据施工图等设计文件编制施工组织设计文件，其主要内容应包括：工程概况、材料管理、技术管理、质量管理、安全管理、工程进度等。

**12.3.3** 施工前应拟定详细的工程进度计划，其中应包括楼承板进场顺序及计划、楼承板铺装、栓钉施工、管线施工、钢筋工程、混凝土工程在内的施工进度计划。

**12.3.4** 楼承板进场施工前应满足用电、用水的作业要求。

**12.3.5** 楼承板进场施工前应完成施工临时通道铺设和临时堆场准备。

**12.3.6** 按照施工图、深化设计图要求，在主体结构的钢柱上或与钢柱相连的钢梁上、剪力墙上需提前焊接好用于铺装楼承板的支撑构件。

**12.3.7** 楼承板施工区域的主体结构及必要支承构件验收合格。

## 12.4 施工工艺

**12.4.1** 楼承板施工应符合现行国家标准按图 12.4.1 规定的工艺流程进行。

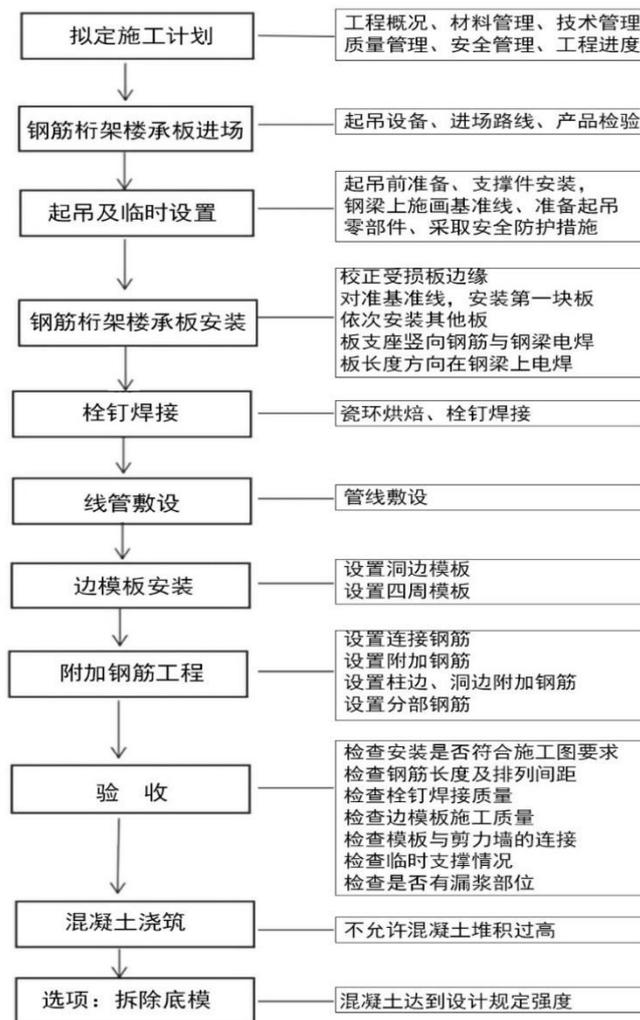


图 12.4.1 钢筋桁架楼承板施工工艺流程

**12.4.2 楼承板铺设应符合下列规定：**

1 按照施工计划将楼承板包装捆吊运至相应的施工区域，在每个铺板单元上明确铺设的起始点及铺设方向；

2 楼承板铺装前应按照深化设计图所示的起铺位置标记铺板基准线。楼承板需对准基准线铺装第一块板，并依次安装其他板，采用标准宽度板或非标宽度板收尾；

3 如楼承板采用搭接、扣接的纵向连接方式，在铺装过程中需检查楼承板的搭接扣是否完好，对于会影响搭接扣质量的变形，应对搭接扣进行矫正，确保板与板之间的搭接紧密与牢靠，以保证在楼板浇筑混凝土时不会漏浆；

4 如楼承板采用拼接的纵向连接方式，在铺装过程中需检查楼承板的拼接是否紧密，对于会导致漏浆的拼接缝，需要及时处理，确保板与板之间的紧密拼接，以保证在楼板浇筑混凝土时不会漏浆；

5 在楼承板铺装过程中，应随铺装随点焊，将楼承板与钢梁点焊固定。对于压型钢板楼承板，在压型钢板与钢梁的搭接支承边采用点焊固定，在每块楼承板宽度方向与钢梁的搭接支承边有不少于 3 个点焊固定点，在沿楼承板长度方向与钢梁的搭接支承边按间隔不大于 400mm 与钢梁点焊固定。对于钢筋桁架楼承板，将楼承板两端所有的支座竖筋与钢梁点焊，在沿楼承板长度方向按间隔不大于 400mm 与钢梁点焊固定；

6 压型钢板楼承板长度方向搭接于边梁时，搭接支承长度不宜小于 75mm；压型钢板楼承板长度方向搭接于中间梁时，搭接支承长度不宜小于 50mm；压型钢板楼承板宽度方向搭接于钢梁时，搭接支承长度不宜小于 30mm；

7 钢筋桁架楼承板在钢梁上的搭接，桁架长度方向搭接长度不宜小于 5d（d 为钢筋桁架下弦钢筋直径）及 50mm 中的较大值；板宽度方向底模与钢梁的搭接长度不宜小于 30mm；

8 在楼承板铺装的平面变化处，可在现场切割楼承板。切割前应对需切割的尺寸进行测量，复核后在楼承板上放线与切割。对于钢筋桁架楼承板，切割后的端部需在焊接支座钢筋后方可进行安装，并与钢梁点焊固定。

**12.4.3 栓钉焊接应符合下列规定：**

1 根据设计图纸要求进行栓钉的焊接；

2 焊接前应对楼承板面上的灰尘、油污进行清理，保证栓钉焊接质量；

3 焊接瓷环应保持干燥状态，如受潮则应在使用前经 120℃ 烘干 2h；

4 如栓钉焊接需穿透压型钢板，则压型钢板与钢梁之间的间隙应控制在 1.0mm 内，以保证良好的栓钉焊接质量；

5 如栓钉焊接需穿透压型钢板，且压型钢板楼承板的厚度大于 1.2mm，宜在压型钢板焊接栓钉的位置预先开孔，开孔直径宜大于栓钉直径 2mm。

**12.4.4 管线铺设应符合下列规定：**

- 1 根据设计图纸要求进行管线铺设；
- 2 电气接线盒的预留预埋，可先将其在底模板上固定，可在底模上开孔，开孔直径不大于 50mm。开孔不得切断钢筋桁架上的钢筋；
- 3 楼板内铺设管线宜采用 PVC 管，在管线铺设时，不应切断钢筋桁架上的钢筋；
- 4 对于钢筋桁架楼承板，在楼承板铺装时宜将钢筋桁架排列整齐且桁架节点对齐，以便于在钢筋桁架内铺设管线。

**12.4.5 边模板安装应符合下列规定：**

- 1 根据设计图纸要求进行边模板安装；
- 2 边模板宜紧贴钢梁面安装，边模板与钢梁面每隔 300mm 间距点焊 25mm 长、2mm 高焊缝；
- 3 悬挑处边模板施工时，应与楼板钢筋或钢筋桁架的上下弦钢筋焊接固定。

**12.4.6 洞口设置应符合下列规定：**

- 1 根据设计图纸要求进行楼承板开洞与洞口处的施工；
- 2 按照设计图纸在楼承板上放线定位洞口的位置，在洞口的边缘处安装边模板；
- 3 应按照设计要求设置洞口边加强钢筋。当孔洞边有较大集中荷载或洞边长度大于 1000mm 时，应设置洞边钢梁。当洞口小于 1000mm 时，应按照设计要求设洞口加强筋。待混凝土强度达到设计强度 75%及以上时，方可切断洞口内的楼承板；
- 4 切割时宜采用等离子切割底模镀锌板，不得采用火焰切割。

**12.4.7 混凝土施工应符合下列规定：**

- 1 在混凝土浇筑前，楼承板安装及其他工程应完成并验收合格，并清除楼承板板上的杂物；
- 2 按照设计图纸要求架设临时支撑与浇筑楼板混凝土。临时支撑不得采用孤立的点支撑，应设置木材和钢型材等带状水平支撑，带状水平支撑与楼承板接触面宽度不应小于 100mm；
- 3 对于板跨小于 8m 的楼板，在楼板混凝土强度未达到设计强度 75%前，不得拆除临时支撑；对于板跨大于 8m 的楼板，在楼板混凝土强度达到设计强度的 100%后方可拆除临时支撑；对于悬挑部位的楼板，临时支撑应在楼板混凝土强度达到设计强度 100%后方可拆除；
- 4 在浇筑楼板混凝土时，应正对钢梁或临时支撑的上方浇筑，浇筑范围或浇筑混凝土造成的临时堆积不得超过钢梁或者临时支撑的左右各 1/6 板跨范围，并应迅速向四周摊开，避免堆积过高。不得在楼承板跨中倾倒混凝土，泵送混凝土管道支架应支撑在钢梁上；
- 5 在楼板混凝土强度未达到设计强度 75%前，不得在楼面上附加任何其他荷载。

## 12.5 质量标准

**12.5.1** 施工过程中严格按照施工工序进行，逐道工序进行质量检验。在楼承板安装完成后，进行隐蔽工程交接验收。

**12.5.2** 压型钢板楼承板的质量检验标准依据现行国家标准《连续热镀锌钢板和钢带》GB/T 2518、《建筑用压型钢板》GB/T 12755 的规定。

**12.5.3** 焊接式钢筋桁架楼承板的质量检验标准依据现行行业标准《钢筋桁架楼承板》JG/T 368 的规定。

**12.5.4** 可拆与免拆底模钢筋桁架楼承板的质量检验标准依据现行行业标准《钢筋桁架楼承板》JG/T 368 与产品标准的规定。

**12.5.5** 楼承板的施工质量检验标准依据现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 的规定。

## 12.6 成品保护

**12.6.1** 楼承板吊运应采用配套软吊带兜底吊运，不得使用钢索直接兜吊。当采用吊具连接与包装架吊运时，在吊装前应验算包装架的承载能力。

**12.6.2** 楼承板在施工现场堆放时与地面接触时应设置垫木，应当倾斜放置，倾斜角度不宜超过 10 度。

**12.6.3** 楼承板现场堆放应做好防淋雨措施与覆盖保护。

## 12.7 注意事项

**12.7.1** 在楼承板上不得随意堆放大型施工设备，不得集中堆放施工材料。

**12.7.2** 施工人员应有足够的安全防护措施，必要时采用安全网等安全措施。

**12.7.3** 施工人员应戴手套，穿胶底鞋，不得在未固定牢靠或未按设计要求设临时支撑的楼承板上行走。

**12.7.4** 焊接与切割时做好施工现场的防火措施。

**12.7.5** 楼承板铺设后应及时封闭洞口，设护栏并作明显标识。

**12.7.6** 5 级及以上大风天气应停止施工作业，并对楼承板做好固定处理，防止坠落。

## 13 空间网格结构高空散装法安装

### 13.1 材料要求

**13.1.1** 空间网格结构安装前，应根据现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 对管材、型材、球加工的质量进行成品件验收，对超出允许偏差的零部件应进行处理。螺栓球应提供承载力试验报告，并按标准要求与高强螺栓进行复试。

**13.1.2** 空间网格结构用高强度螺栓连接时，应检查其出厂合格证，扭矩系数或紧固轴力的检验报告应齐全，并按规定作紧固轴力或扭矩系数复验。根据设计图纸要求分规格、数量配套供应到现场。

**13.1.3** 空间网格结构安装前应对焊接材料的品种、规格、性能进行检查，各项指标应符合现行国家标准和设计要求，应检查焊接材料的质量合格证明文件、检验报告及中文标志等。对重要钢结构采用的焊接材料应进行抽样复验。

### 13.2 主要机具

**13.2.1** 空间网格结构安装可采用表 13.2.1 中的机具。

表 13.2.1 主要机具

序号	名称	用途
1	起重机	杆件或拼装单元安装
2	千斤顶	调节拼装支点高度
3	螺旋式调节器	调节拼装支点高度
4	交流弧焊机	焊接球节点与杆件焊接
5	直流弧焊机	碳弧气刨修补焊缝
6	空气压缩机	配合碳弧气刨用
7	砂轮	打磨焊缝
8	全站仪	轴线测量
9	经纬仪	轴线测量
10	水平仪	标高测量
11	钢尺	测量
12	拉力计	测量
13	测厚仪	空心球壁厚测量

**13.2.2** 检测设备应经过计量检定。

### 13.3 作业条件

**13.3.1** 应完成深化设计图纸及相关文件、专项施工方案的编制，并按规定进行审批。

**13.3.2** 应对使用的各种测量仪器及钢尺进行计量检验。

**13.3.3** 应根据土建提供的纵横轴线和水准点，进行验线有关技术问题处理完毕。应复核承重柱的定位轴线，纵横向轴间尺寸应满足设计要求，偏差在标准允许的偏差范围内。宜按施工平面布置图划分材料堆放区、杆件制作区、拼装区、堆放区，构件宜按吊装顺序进场。

**13.3.4** 场地应平整夯实、雨季施工应设排水沟。

**13.3.5** 应在制作区、拼装区、安装区设置足够电力负荷的电源。

**13.3.6** 临时支撑架及操作平台应进行验收后使用。

**13.3.7** 应将高空拼装支点的纵横轴线及标高测量好并验收完毕。

**13.3.8** 应检查成品件、零部件、几何尺寸、编号、数量和包括加工的附属零件。

**13.3.9** 应做好有关测试及安全、消防准备工作。

**13.3.10** 安装前应对柱顶混凝土强度进行检查，柱顶混凝土强度应符合设计要求和国家现行有关标准的规定后才能安装。

**13.3.11** 空间网格满堂脚手架搭设前应编写专项施工方案，完成技术交底，且应符合相应的脚手架安全技术标准及安全操作规程。脚手架验收合格后，方可进行空间网格安装施工。

## 13.4 施工工艺

**13.4.1** 高空散装法应按图 13.4.1 规定的工艺流程进行操作。

**13.4.2** 高空散装法的安装顺序应符合下列规定：

1 高空散装法应确定合理的安装顺序，安装顺序应根据空间网格形式、支承类型、结构受力特征、杆件小拼单元，临时稳定的边界条件、施工机械设备的性能和施工场地情况等诸多因素综合确定。选定的高空拼装顺序应能保证拼装的精度、减少累计误差，并应符合下列规定：

1) 平面呈矩形的周边支承两向正交斜放网架，总的安装顺序宜由建筑物的一端向另一端呈三角形推进。因考虑网片安装中，为防止累计的误差，应由屋脊网线分别向两边安装；

2) 平面呈矩形的三边支承两向正交斜放空间网格，总的安装顺序应在纵向应由建筑物的一端向另一端呈平行四边形推进，在横向应由三边框架内侧逐渐向开口方向逐条安装；

3) 平面呈方形由两向正交正放桁架和两向正交斜放拱索桁架组成的周边支承空间网格，总的安装顺序应先安装拱桁架，再安装索桁架，在拱索桁架已固定、且已形成能够承受自重的结构体系后，再对称安装周边四角、三角形空间网格。拱索桁架安装顺序宜按图 13.4.2 的方式进行安装。

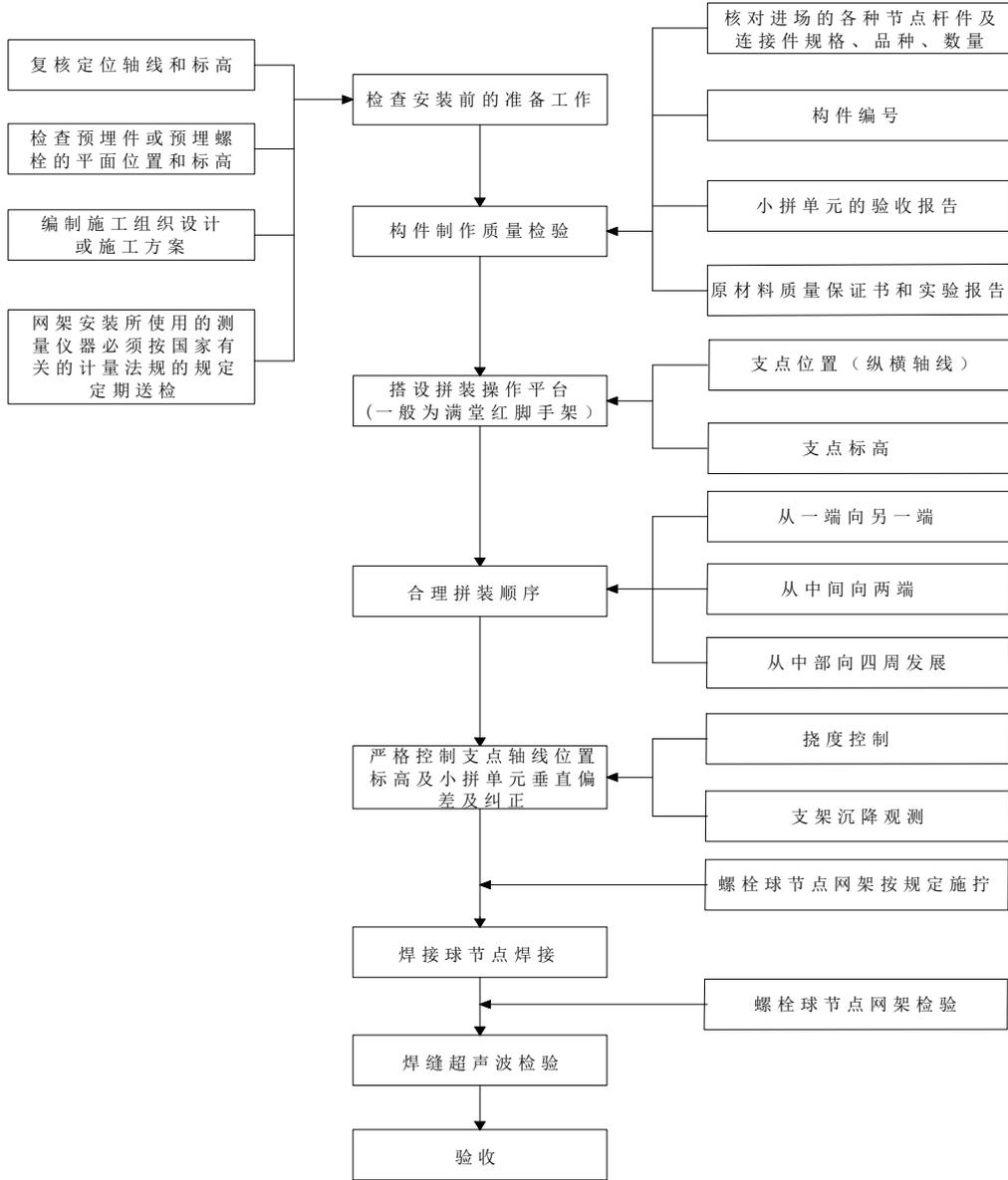


图 13.4.1 高空散装法施工工艺流程

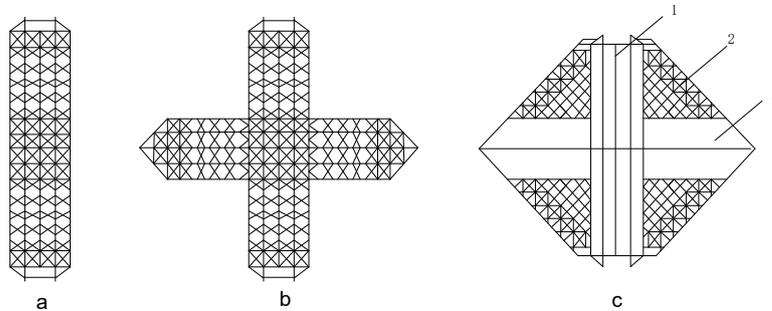


图 13.4.2 拱索桁架安装顺序

a 拱区域安装； b 索区域安装； c 三角区安装

## 1 2 3

2 高空散装法应严格控制基准轴线位置、标高及垂直偏差，并及时纠正，并应符合下列规定：

1) 空间网格安装应对建筑物的定位轴线、支座轴线和支承的标高、预埋螺栓或锚栓位置进行检查，做出记录，办理交接验收手续。支撑面、预埋螺栓或锚栓允许偏差应符合表 13.4.2 的规定：

表 13.4.2 支承面、预埋螺栓或锚栓的允许误差 (mm)

项目		允许偏差
支承面	位置	15.0
	标高	0 -3.0
	水平度	短边长度 $L/1000$
预埋长度	螺栓中心偏移	5.0
检查数量	按柱基数抽查 10%，且不少于 3 个	

2) 空间网格安装过程中，应对空间网格支座轴线、支承面标高或网架下弦标高、空间网格屋脊线、檐口线位置和标高进行跟踪控制。发现误差积累应及时纠正；

3) 采用网片和小拼单元进行拼装时，应严格控制网片和小拼单元的定位线和垂直度；

4) 各杆件与节点连接时中心线应汇交于一点，螺栓球、焊接球应汇交于球心；

5) 空间网格结构总体拼装完成后纵横向长度偏差、支座中心偏移、相邻支座偏移、相邻支座高差、最低最高支座差等指标均应符合现行行业标准《空间网格结构技术规程》JGJ 7 的要求。

3 空间网格高空散装法的拼装支架应进行设计和验算，拼装支架应符合下列规定：

1) 应具有足够的强度和刚度，拼装支架应通过验算除满足强度要求外，还应满足单肢及整体稳定要求。符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定。荷载工况宜考虑构件恒载、胎架自重、施工活荷载和风荷载。拼装支架的水平位移除了满足钢结构设计标准的要求之外，还应设置揽风绳等措施，减小位移量，满足构件拼装精度要求；

2) 拼装支架的设置应具有稳定的沉降量，必要时可用千斤顶进行调整。如发现支架不稳定下沉，应立即研究解决，避免由于拼装支架的变形而影响空间网格的拼装精度。可将拼装支架设置成可移动支架；

3) 当选用扣件式钢管搭设拼装支架时，应在立杆柱网中纵横每相隔 15m~20m 设置格构柱或格构框架作为核心结构。格构柱或格构框架应设置交叉斜杆剪刀撑，斜杆与立杆或水平杆交叉处节点应用扣件连接牢固；

- 4) 支架应与土建结构连接牢固，当无连接条件时，应设置安全揽风绳、抛撑等；
- 5) 对于高宽比较大的拼装支架还应进行抗倾覆验算。

#### 4 支撑点的拆除应符合下列规定：

- 1) 拼装支撑点拆除应遵循“变形协调，卸载均衡”的原则；
- 2) 临时支座拆除应由中间向四周，中心对称进行。宜根据各支撑点的结构自重挠度值，采用分区分阶段按比例下降或用每步不应大于 10mm 等步下降法拆除临时支承点；
- 3) 拆除临时支承点应检查千斤顶行程，应满足支撑点下降高度，关键支撑点处应增设备用千斤顶。降落过程中，应统一指挥，责任到人，遇有问题由总指挥处理解决。

#### 13.4.3 螺栓球节点空间网格总体拼装应符合下列规定：

- 1 螺栓球节点的加工精度如尺寸有误现场无法解决时，应运回加工厂处理；
- 2 高空平台拼装时，宜从一端开始，以一个网格为一排，逐排步进。宜先拼下弦，将下弦的标高和轴线调整好后，全部拧紧螺栓，起定位作用。校正前的各工序螺栓均不拧紧。如经试拼合格后，也可一次拧紧。拼装顺序宜符合图 13.4.3 的规定；

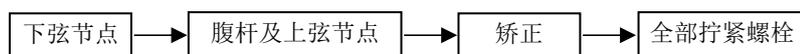


图 13.4.3 螺栓球节点空间网格总体拼装工艺流程

- 3 空间网格检查、调整后，应对网架高强度螺栓进行重新紧固；
- 4 空间网格高强螺栓紧固后，应将套筒上的紧固螺钉拧紧锁定。

#### 13.4.4 焊接球节点总体拼装应符合下列规定：

- 1 总体拼装顺序应从中间向两边或从中间向四周进行，组装网架以点焊为准，整体网架组装完后应进行校核；
- 2 焊接空间网格结构不得形成封闭圈，固定在封闭圈中焊接会产生很大的收缩应力；
- 3 正式拼装前，宜在操作平台上选一个适当位置进行试拼一组，空间网格焊接时宜先焊下弦，使下弦收缩而略向上拱，然后焊接腹杆及上弦；
- 4 空间网格在拼装可预先设施工起拱，预起拱值应经过计算并经设计单位确认。

## 13.5 质量标准

13.5.1 应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205。

13.5.2 空间结构及桁架安装工程应作为一个子分部工程进行验收。

## 13.6 成品保护

**13.6.1** 对高强度螺栓、焊条及焊丝等，应放在库房的货架上，防止变潮。

**13.6.2** 不得在已安装完毕的空间网格结构上堆放物品。如有屋面板、檩条需要安装时，也应在不超载情况下分散码放，除作业人员进行调整外不得上人，不得加载。

**13.6.3** 已检测合格的焊缝应及时补刷底漆保护。

**13.6.4** 对成品的面漆和防火涂料完成后应采取保护措施，不得磕碰。

## 13.7 注意事项

**13.7.1** 技术质量方面应符合下列规定：

1 应严格按技术标准和安全规程设置支撑架，保证其有足够的强度、刚度和稳定的沉降量。施工时应保证已施工部分的刚度和稳定性，避免支撑架的变形而影响网架的拼装精度。对于重大工程或当缺乏经验时，对所设计的支架应进行预压，检验其承载力、刚度及有无不均匀沉降等；

2 应根据不同结构形式、支撑类型、结构受力小拼单元，临时稳定的边界条件，施工机械设备的性能和施工场地等诸多因素综合确定，采取不同的拼装顺序，减少累计偏差；

3 应在拼装过程中严格控制基准轴线位置、标高及垂直偏差，拼装过程中随时测量调整，保证结构总体拼装后的各项指标符合标准；

4 支顶点拆除应遵从统一指挥，各组支点应同步下降，在下降过程中，下降的幅度不应过大，应是逐步逐个分区、分阶段按比例的下落；

5 焊接宜考虑焊接影响，减少焊接残余应力与变形；

6 空间网格以及屋面完成后，应分别测量其挠度值，且所测的挠度值应满足设计及规范要求；

7 焊接球空间网格安装焊接时，应考虑到焊接收缩的变形问题，焊接前应掌握好焊接变形量和收缩值，在施工焊接球空间网格时应考虑到单向受热的变形因素；

**13.7.2** 安全措施方面应符合下列规定：

1 支撑架应符合稳定性要求。配备专职人员对架体进行检查验收，确保安全生产；

2 支撑架上部需要设置操作平台，并应设置防护栏杆；

3 使用活动操作平台，应经过鉴定验收，安装牢固，采用滑动时，设有防止活动架在滑移中出轨，应设挡块或安全卡；

4 空间网格支座落位，操作人员应责任到人，出现问题时应由分指挥向总指挥报告，由总指挥统一处理问题；

5 脚手架使用过程中，架上堆放的材料应分散而不能集中堆放，应防止脚手架局部承受载过大而发生坍塌，并采取措施防止球、杆体滚动、坠落；

6 在网架安装过程中不应有其他操作人员在操作平台下操作或通行，防止杆件、球等零件坠落砸伤下面的操作人员。

## 14 空间网格结构分条或分块法安装

### 14.1 材料要求

**14.1.1** 空间网格结构安装前，应根据国家现行标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 对管、球加工的质量进行成品件验收，对超出允许偏差零部件应进行处理。供货单位应提供螺栓球承载力试验报告，并按标准要求与高强螺栓相配合进行复试。

**14.1.2** 空间网格结构用高强度螺栓连接时，应检查其出厂合格证，扭矩系数或紧固轴力的检验报告应齐全，并按规定作紧固轴力或扭矩系数复验。根据设计图纸要求分规格、数量配套供应到现场。

**14.1.3** 空间网格结构安装前应对焊接材料的品种、规格、性能进行检查，各项指标应符合现行国家标准和设计要求，应检查焊接材料的质量合格证明文件、检验报告及中文标志等。对重要钢结构采用的焊接材料应进行抽样复验。

### 14.2 主要机具

**14.2.1** 空间网格结构安装可采用表 14.2.1 中的机具：

表 14.2.1 主要机具

序号	名称	用途
1	起重机	杆件或拼装单元安装
2	千斤顶	调节拼装支点高度
3	螺旋式调节器	调节拼装支点高度
4	交流弧焊机	焊接球节点与杆件焊接
5	直流弧焊机	碳弧气刨修补焊缝
6	空气压缩机	配合碳弧气刨用
7	砂轮	打磨焊缝
8	全站仪	轴线测量
9	经纬仪	轴线测量
10	水平仪	标高测量
11	钢尺	测量
12	拉力计	测量
13	测厚仪	空心球壁厚测量

**14.2.2** 检测设备应经过计量检定。

### 14.3 作业条件

**14.3.1** 应完成正式施工图纸及有关技术文件编制施工组织设计审批。

**14.3.2** 应对使用的各种测量仪器及钢尺进行计量检验复验。

**14.3.3** 应根据土建提供的纵横轴线和水准点，进行验线有关技术问题处理完毕。应复核承重柱的定位轴线，纵横向轴间尺寸应满足设计要求，偏差在标准允许的偏差范围内。

- 14.3.4** 宜按施工平面布置图划分材料堆放区、杆件制作区、拼装区、堆放区，构件宜按吊装顺序进场。
- 14.3.5** 场地应平整夯实，满足承载力要求，雨季施工应设排水沟。
- 14.3.6** 应在制作区、拼装区、安装区设置足够的电源。
- 14.3.7** 应将高空拼装支点的纵横轴线及标高测量好。
- 14.3.8** 应检查成品件、零部件、几何尺寸、编号、数量和包括加工的附属零件。
- 14.3.9** 应做好有关测试及安全、消防准备工作。
- 14.3.10** 参与空间网格安装人员如测量工、电焊工、起重机司机、信号工应持证上岗。
- 14.3.11** 应检查条或块拼装平台，验收合格后方可进行拼装。
- 14.3.12** 应检查条或块拼装几何尺寸，并验收合格。
- 14.3.13** 应根据施工组织设计搭设的支架操作平台，检查其承重支点的牢固情况。
- 14.3.14** 应复核高空拼装支点的纵横轴线及标高。
- 14.3.15** 安装前应对柱顶混凝土强度进行检查，柱顶混凝土强度应符合设计要求和国家现行有关标准的规定后方可安装。

## 14.4 施工工艺

- 14.4.1** 分条分块法应按图 14.4.1 规定的工艺流程进行操作。
- 14.4.2** 分条分块法的安装顺序应符合下列规定：
- 1 分条分块法应确定合理的分块高空安装顺序，安装顺序应根据空间网格形式、支撑类型、临时稳定的边界条件、施工机械设备的性能和施工场地情况等因素确定；
  - 2 分条分块法应严格控制基准轴线位置、标高及垂直偏差，并及时纠正，并应符合下列规定：
    - 1) 空间网格安装应对建筑物的定位轴线、支座轴线和支承的标高，预埋螺栓或锚栓位置进行检查，做出检查记录，办理交接验收手续。应符合表 14.4.2 的规定；
    - 2) 空间网格安装过程中，应对其支座轴线、支承面标高或网架下弦标高，网架屋脊线，檐口线位置和标高进行跟踪控制。发现误差积累应及时纠正；
    - 3) 空间网格结构总体拼装完成后纵横向长度偏差、支座中心偏移、相邻支座偏移、相邻支座高差、最低最高支座差等指标均应符合现行行业标准《空间网格结构技术规程》JGJ 7 要求。

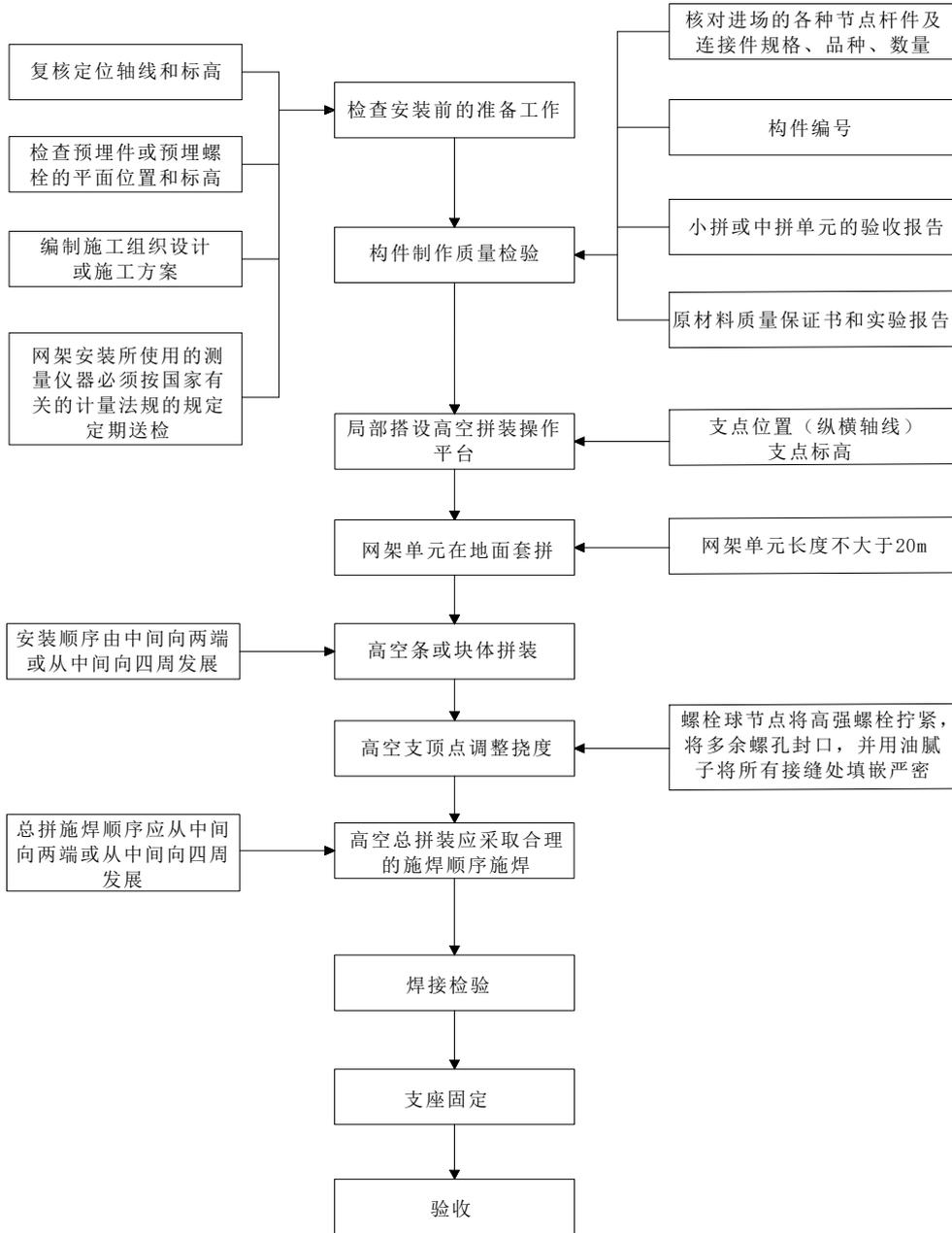


图 14.4.1 分条分块法施工工艺流程

表 14.4.2 支承面、预埋螺栓或锚栓的允许误差 (mm)

项目		允许偏差
支承面	位置	15.0
	标高	0 -3.0
	水平度	短边长度 $L/1000$
预埋长度	螺栓中心偏移	5.0
检查数量	按柱基数抽查 10%，且不少于 3 个	

3 空间网格的分条分块安装法的拼装支架进行设计,重要的或大型工程还应进行预压,检验其使用的可靠性,拼装支架应符合下列规定:

1) 拼装支架应具有足够的强度和刚度,并通过验算满足强度要求。还应满足单肢及整体稳定要求;

2) 在网架拼装过程中应经常观察支架变形情况并及时调整。避免由于拼装支架的变形而影响网架的拼装精度;

3) 拼装支承点的拆除应遵循“变形协调,卸载均衡”的原则,否则临时支座超载失稳,或者造成空间网格的局部甚至整体受损;

4) 临时支座拆除应由中间向四周,中心对称进行,不应出现个别支承点集中受力,宜根据各支撑点的结构自重挠度值,采用分区分阶段按比例下降或用每步不大于 10mm 等步下降法拆除临时支承点;

5) 拆除临时支承点应注意检查千斤顶行程满足支承点下降高度,关键支承点应增设备用千斤顶。降落过程中,应统一指挥责任到人,遇有问题由总指挥处理解决。

4 分条或分块安装法可与其他安装法相配合使用,如高空散装法,高空滑移法等方法中都可采用此法施工。

**14.4.3** 分条分块法的空间网格单元划分应符合下列规定:

1 空间网格应根据起重机的负荷能力和空间网格的结构特点确定分条分块单元的划分,并应符合下列规定:

1) 网架单元相互靠紧,可将下弦双角钢分开在两个单元上;

2) 网架单元相互靠紧,可将单元间上弦用剖分式安装节点连接,正放四角锥网架块状单元划分宜设置临时加固的杆件(图 14.4.3);

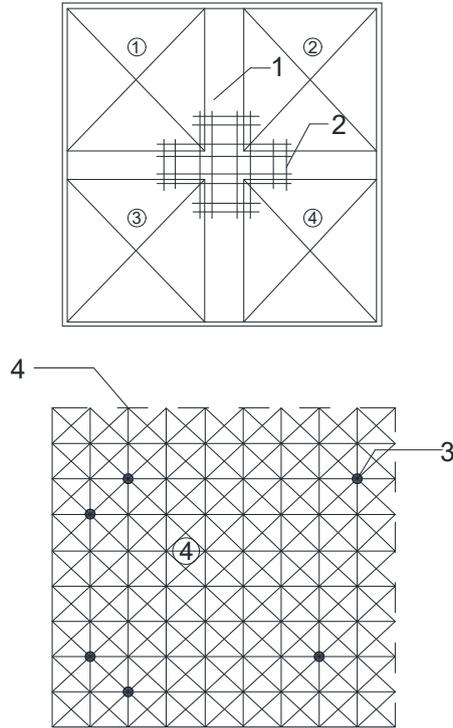


图 14.4.3 正放四角锥网架块状单元划分方法示例

1— 高空后拼杆件； 2— 拼装支架； 3— 吊点； 4— 临时加固的杆件

注：①—④为块状单元

3) 两向正交正放等网架可在单元之间空一节间，该节间在网架单元吊装后再在高空拼装。

2 当正放四角锥等正放类网架划分成条状单元时，应加固后吊装（图 14.4.3）。

#### 14.4.4 分条分块法的空间网格的挠度调整应符合下列规定：

1 块状单元在地面拼装后，应模拟高空支撑条件，拆除全部地面支墩后观察施工挠度，必要时调整其挠度；

2 条状单元合拢前应先将其顶高，使中央挠度与其形成整体后该处挠度相同。可用钢管做顶撑，在钢管下端设千斤顶，调整标高时将千斤顶顶高即可；

3 当设计已加高了空间网格结构高度时，则分条安装时可不调整挠度；

4 条状单元安装后支顶点位置宜按图 14.4.4 所示设置。

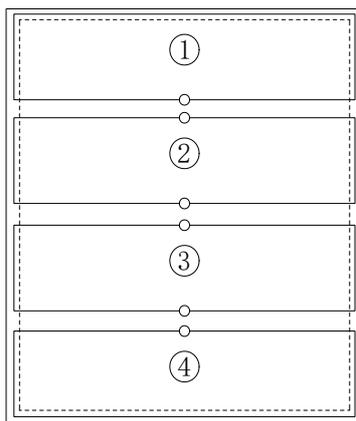


图 14.4.4 条状单元安装后支顶点位置

O——支顶点：①—④—单元编号

#### 14.4.5 分条分块法的空间网格尺寸控制应符合下列规定：

1 应根据空间网格结构形式和起重设备能力决定分条或分块空间网格尺寸的大小，在地面胎具上拼装好；

2 当空间网格分割成分条或分块单元后，对于正放类空间网格，在自重作用下若能形成稳定体系，可不考虑加固措施。而对于斜放类空间网格，分割后应设置临时加固杆件。各种加固杆件在空间网格形成整体后方可拆除；

3 分条或分块的空间网格的单元尺寸应准确，保证高空总体拼装时节点吻合和减少偏差。可采用预拼法或套拼的办法进行尺寸控制。并宜减少中间转运，如需运输，应用特制专用车辆，防止空间网格的单元变形；

4 分条或分块的空间网格结构单元不大于 20m 时，拼接边长度允许偏差应为 $\pm 10\text{mm}$ ；当条或块单元长度大于 20m 时，拼接边长度允许偏差应为 $\pm 20\text{mm}$ 。高空总体拼装应采取保证精度的措施；

5 分条或分块的空间网格结构安装顺序应由中间向两端安装，或由中间向四周发展。高空总体拼装应采取合理的焊接顺序减少焊接残余应力和焊接变形。总体拼装时的施焊顺序也是由中间向两端安装，或由中间向四周发展。

#### 14.4.6 大跨度空间桁架分段高空拼装应符合下列规定：

1 构件的分段应有足够的强度和刚度，确保在吊装及安装过程中单元不会产生局部破坏或永久变形，否则应采取临时措施进行加固；

2 分条分块法施工需要对预拼装预起拱值、安装预起拱值以施工卸载进行详细验算。

#### 14.4.7 大跨度预应力立体拱桁架安装应符合下列规定：

1 宜根据现场吊装设备其中性能将桁架进行分段，将一榀拱架分为几段，以最重的拱架为主，分别在工厂拼装好，验收合格后运至现场，进行立式整体组装。组装胎架设置应符合下列规定：

- 1) 宜将胎架安置在路基箱上，用钢垫板找平；
- 2) 胎架支承应按最大单段拱架重量计算确定立柱数量。每个支点按静荷载吨位，安全系数取 3，计算出每根立柱承载力，组装胎架；
- 3) 胎架应测量定位无误后，电焊固定。应对每个支撑点进行水准测量，若发现支承座不在一个平面上时，可采用钢板垫片垫平，并点焊固定；
- 4) 可采用便于拱架吊装的立式拼装法；
- 5) 如果采用卧式拼装法，安装时应采取多点整体吊装空中翻身 90°。

2 当采用一机或两机抬吊，立体拱桁架宜在 100t 左右，吊点应满足下列条件：

- 1) 拱架各杆件，特别是挂点附近杆件的轴力较小，最大以不超过相应杆件抗拉（压）强度为原则；
- 2) 吊车起升高度能满足拱架吊高要求；
- 3) 吊索与水平线夹角不宜 60°。

3 拱桁架安装应符合下列规定：

- 1) 支座就位控制宜采取垫设 3mm 厚度的聚四氟板的方法；
- 2) 拱架应先就位高支座后就位低支座。在高支座处螺孔宜为长圆孔；
- 3) 在拱架每侧应设置 2 根缆风绳，用经纬仪平移法校正固定；
- 4) 檩架安装宜先吊两端及中部檩架，固定后再吊其他檩架。

4 拱架在设计上弦或下弦有预应力时，宜根据设计要求在起吊前做预应力，也可当拱架安装完毕形成整体框架结构体系，再进行预应力。

## 14.5 质量标准

14.5.1 应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205。

14.5.2 空间结构及桁架安装工程应作为一个子分部工程进行验收。

## 14.6 成品保护

14.6.1 对高强度螺栓、焊条及焊丝等，应放在库房的货架上，防止受潮。

14.6.2 不得对已安装完毕的空间网格结构上堆放物品，防止集中荷载压坏结构杆件。如有屋面板、檩条需要安装时，也应在不超载情况下分散码放，除作业人员进行调整外不得上人，不得加载。

**14.6.3** 已检测合格的焊缝应及时补刷底漆保护。

**14.6.4** 对成品的面漆和防火涂料不得磕碰，如有屋面板、檩条需要安装时，应在不超载情况下分散码放。

## 14.7 注意事项

**14.7.1** 分条或分块安装顺序应由中间向两端安装，或从中间向四周发展，如施工场地限制也可采用一端向另一端安装。

**14.7.2** 高空总体拼装应采用合理的施焊顺序，减少焊接变形和焊接残余应力。总体拼装时的施焊顺序也应从中间向两端或从中间向四周发展。

**14.7.3** 螺栓球节点及用高强度螺栓连接的空间网格结构，按有关规定拧紧高强螺栓后，应对高强度螺栓的拧紧情况逐一检查，压杆不得存在缝隙，确保高强度螺栓拧紧。安装完成后应对拉杆套筒的缝隙和多余的螺孔用油腻子填嵌密实，并应按规定进行防腐处理。

**14.7.4** 合拢处可采用安装螺栓等装配措施。设立独立的支撑点或拼装支架。

**14.7.5** 合拢时可用千斤顶将网架单元顶到设计标高，然后连接。

**14.7.6** 吊装吊点的设置应根据网架分块的尺寸及重心位置进行合理布置，吊点设置时应应对网架分块吊装过程中的变形进行计算分析，确定合理的吊装吊点位置，控制网架分块的吊装变形。

**14.7.7** 分块起吊前，应割除网架拼装时设置的临时焊接固定点，使网架处于自由支撑状态。对网架焊缝位置及涂层有破损位置应进行油漆修补，同时做好网架测量定位标记，在分块高空定位标记坐标点验收合格后，方可进行吊装。

**14.7.8** 在总体拼装前宜用千斤顶等设备调整其挠度，使之与空间网格形成整体后该处挠度相同，然后进行总体拼装。

# 15 空间网格结构高空悬挑法安装

## 15.1 材料要求

**15.1.1** 原材料应符合下列规定：

1 制作螺栓球、封板、锥头和套筒等所采用的原材料，其品种、规格、性能等应符合国家现行标准的规定和满足设计要求，并具有质量合格证明文件。对应钢材的抽样复验应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的规定；

2 钢网架螺栓球节点用高强度螺栓的品种、规格、性能应符合现行国家标准《钢网架螺栓球节点用高强度螺栓》GB/T 16939 的规定并满足设计要求，并具有质量合格证明文件。螺栓球节点钢网架、网壳结构用高强度螺栓应进行表面硬度检验，检验结果应满足其产品标准的要求；

3 建筑结构安全等级为一级或跨度 60m 及以上的螺栓球节点钢网架、网壳结构应提供拉力载荷试验报告；

4 防腐涂料等材料的品种、规格、性能等应符合国家现行标准的规定并满足设计要求，并具有质量合格证明文件。

#### 15.1.2 螺栓球及杆件等构件加工应符合下列规定：

1 螺栓球成型后，表面不应有裂纹、褶皱和过烧。封板、锥头、套筒表面不得有裂纹、过烧及氧化皮。并应按照现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的规定进行检查；

2 封板、锥头与杆件连接焊缝质量应满足设计要求，当设计无要求时应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 规定的二级焊缝质量等级标准；杆件之间对接焊缝质量应满足设计要求，当设计无要求时应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 规定的一级焊缝质量等级标准；

3 螺栓球螺纹尺寸应符合现行国家标准《普通螺纹基本尺寸》GB/T 196 的规定，螺纹公差应符合现行国家标准《普通螺纹公差》GB/T 197 中 6H 级精度的规定；

4 螺栓球加工的允许偏差应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的规定；

5 钢管杆件宜用机床下料，杆件制作长度的允许偏差应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的规定；

6 螺栓球及杆件等构件涂装前钢材表面除锈等级应满足设计要求并符合国家现行标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的规定。处理后的钢材表面不应有焊渣、焊疤、灰尘、油污、水和毛刺等。当设计无要求时，钢材表面除锈等级应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的规定；

7 螺栓球及杆件等防腐涂料、涂装遍数、涂装间隔、涂层厚度均应满足设计文件、涂料产品标准的要求。当设计对涂层厚度无要求时，当设计无要求时应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 规定的即涂层干漆膜总厚度：室外不应小于 150 $\mu\text{m}$ ，室内不应小于 125 $\mu\text{m}$ 。

## 15.2 主要机具

15.2.1 起重设备宜使用塔式起重机、履带式起重机、轮胎式起重机等。

15.2.2 工具用具宜配备螺钉旋具、扳手等。

15.2.3 测量仪器宜配备全站仪、经纬仪、水准仪、钢卷尺、钢尺等。

## 15.3 作业条件

15.3.1 根据正式的施工图纸及有关技术文件编制施工组织设计或施工方案，按照相关要求及程序进行报审，并审批通过。危险性较大的分部分项工程应编制专项施工方案，对于超过一定规模的危大工程，施工单位应当组织召开专家论证会对专项施工方案进行论证。

- 15.3.2 大跨度空间结构应进行安装全过程施工验算。
- 15.3.3 工程应采用经计量检定、校准合格的计量器具，并在检定有效期内使用，性能状态良好。
- 15.3.4 施工前，应复核定位轴线和标高，检查支座预埋件、预埋锚栓的平面位置和标高。
- 15.3.5 进场螺栓球及杆件等构件资料齐全，通过监理等验收。
- 15.3.6 核对螺栓球及杆件等构件的编号、数量、几何尺寸。
- 15.3.7 施工现场具备材料堆放、拼装场地，且场地干燥、平整；需要运输车辆及吊装设备行走的道路或地面完成平整、硬化等满足使用要求。
- 15.3.8 对于施工人员进行进场安全培训及考核，特殊工种人员应持证上岗；对施工人员进行技术交底。

### 15.4 施工工艺

15.4.1 空间网格结构的高空悬挑法施工应按图 15.4.1 规定的工艺流程进行操作：



图 15.4.1 施工工艺流程

**15.4.2** 宜在安装前组成小拼单元，直接由单根杆件或单个节点和各种小拼单元组合共同总拼装成空间网格结构。

**15.4.3** 高空悬挑法施工空间网格结构前，应先拼装成可承受自重的稳定结构单元，稳定结构单元作为起步跨或起步单元应具有足够的刚度，将小拼单元与该结构单元在高空拼装，让稳定结构单元逐步扩展，直到完成空间网格结构安装。

**15.4.4** 安装顺序应符合下列规定：

1 在满足质量和安全的前提下，应根据空间网格结构受力和构造特点、施工技术条件，综合确定安装方法和安装顺序；确定的安装顺序应能保证安装的精度、减少积累误差、满足施工工期；

2 安装顺序可采用下述方式：

1) 平面呈矩形的周边支承两向正交斜放网架安装顺序可由建筑物的一端向另一端呈可呈三角形推进；

2) 长度比较长的圆柱面网壳安装顺序可由中间向两端安装；

3) 三边支承、两边支承和多点支承的网格结构可由网架支座位置为中心，开始向四周扩散安装；

4) 跨度球面网壳安装顺序可由四周向中部安装。

3 空间网格结构在拼装过程中应对控制点空间坐标随时跟踪测量，并及时调整至设计要求值，不应使拼装偏差逐步积累；

4 对某些空间网格结构根据其结构特点和现场条件，可采用两种或两种以上不同的安装方法或安装顺序结合起来综合运用；

5 施工时，宜从起步跨开始，以一个网格为一排，逐排步进；

6 对建筑结构安全等级为一级或跨度 60m 及以上的螺栓球节点钢网架、网壳结构，其连接高强度螺栓应按现行国家标准《钢网架螺栓球节点用高强度螺栓》GB/T 16939 进行拉力载荷试验。

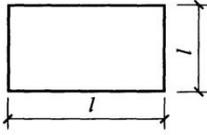
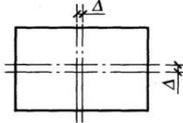
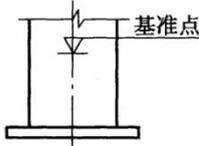
## 15.5 质量标准

### I 主控项目

**15.5.1** 钢网架、网壳结构及支座定位轴线和标高的允许偏差应符合表 15.5.1 的规定，支座锚栓的规格及紧固应满足设计要求。

表 15.5.1 定位轴线、基础上支座的定位轴线和标高的允许偏差 (mm)

项 目	允许偏差	图 例
-----	------	-----

结构定位轴线	$l/20000$ , 且不大于 3.0	
基础上支座的定位轴线	1.0	
基础上支座底标高	$\pm 3.0$	

**15.5.2** 支座支承垫块的种类、规格、摆放位置和朝向, 应满足设计要求并符合国家现行标准的规定。橡胶垫块与刚性垫块之间或不同类型刚性垫块之间不得互换使用。

**15.5.3** 钢网架、网壳结构总拼完成后及屋面工程完成后应分别测量其挠度值, 且所测的挠度值不应超过相应荷载条件下挠度计算值的 1.15 倍。

## II 一般项目

**15.5.4** 支承面顶板的位置、顶面标高、顶面水平度以及支座锚栓位置的允许偏差应符合表 15.5.4 的规定。支座锚栓的紧固应满足设计要求。

表 15.5.4 支承面顶板、支座锚栓位置的允许偏差 (mm)

项 目		允许偏差
支承面顶板	位置	15.0
	顶面标高	0
	顶面水平度	-3.0
支座锚栓	中心偏移	$l/1000$
		$\pm 5.0$

注:  $l$  为顶板长度。

**15.5.5** 地脚锚栓尺寸的偏差应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的规定。支座锚栓螺纹应采用保护措施。

**15.5.6** 螺栓球节点网架、网壳总拼完成后, 高强度螺栓与球节点应紧固连接, 连接处不应出现有间隙、松动等未拧紧现象。

**15.5.7** 小拼单元的允许偏差应符合表 15.5.7 的规定。

表 15.5.7 小拼单元的允许偏差 (mm)

项 目		允许偏差
节点中心偏移	$D \leq 500$	2.0
	$D > 500$	3.0
杆件中心与节点中心的偏移	$d(b) \leq 200$	2.0

	$d(b) > 200$	3.0
杆件轴线的弯曲矢高	—	$l_1/1000$ , 且不大于 5.0
网格尺寸	$l \leq 5000$	$\pm 2.0$
	$l > 5000$	$\pm 3.0$
锥体(桁架)高度	$h \leq 5000$	$\pm 2.0$
	$h > 5000$	$\pm 3.0$
对角线尺寸	$A \leq 7000$	$\pm 3.0$
	$A > 7000$	$\pm 4.0$
平面桁架节点处杆件轴线错位	$d(b) \leq 200$	2.0
	$d(b) > 200$	3.0

注:  $D$  为节点直径,  $d$  为杆件直径,  $b$  为杆件截面边长,  $l_1$  为杆件长度,  $l$  为网格尺寸,  $h$  锥体或桁架高度,  $A$  为网格对角线尺寸。

**15.5.8** 钢网架、网壳结构安装完成后的允许偏差应符合表 15.5.8 的规定。

表 15.5.8 钢网架、网壳结构安装的允许偏差(mm)

项 目	允许偏差
纵向、横向长度	$\pm l/2000$ , 且不超过 $\pm 40.0$
支座中心偏移	$l/3000$ , 且不大于 30.0
周边支承网架、网壳相邻支座高差	$l_1/400$ 且不大于 15.0
多点支承网架、网壳相邻支座高差	$l_1/800$ , 且不大于 30.0
支座最大高差	30.0

注:  $l$  为纵向或横向长度;  $l_1$  为相邻支座距离。

**15.5.9** 钢网架、网壳结构安装完成后, 其节点及杆件表面应干净, 不应有明显的疤痕、泥沙和污垢。螺栓球节点应将所有接缝用腻子填嵌严密, 并应将多余螺孔密封。

## 15.6 成品保护

**15.6.1** 空间网格结构的螺栓球、高强度螺栓等进场时, 应码放在干净的地方, 防止沾染油污, 防止损坏螺扣。

**15.6.2** 拼装好的小拼单元应整齐码放, 不得乱堆乱放防止变形。

**15.6.3** 吊装小拼单元时宜使用吊装带, 避免损坏油漆。

**15.6.4** 螺栓球网架安装后, 及时检查油漆是否有破损等情况, 还应检查螺栓球上的孔洞是否封闭, 应用腻子将孔洞和套筒的间隙填平后刷漆, 防止水分渗入, 导致球、杆的丝扣锈蚀。

**15.6.5** 空间网格结构安装完毕后, 应对成品空间网格结构保护, 勿在空间网格结构上方集中堆放物件。如屋面板、檩条需要安装时, 必须放置在空间网格结构上方时, 也应在不超载情况下分散码放, 且固定牢固。

**15.6.6** 如需用吊车吊装檩条或屋面板时, 应该轻起轻落, 严禁碰撞到空间网格结构, 造成空间网格结构变形。

## 15.7 注意事项

- 15.7.1** 钢管杆件接长不得超过一次，接长杆件总数不应超过杆件总数的 10%，并不得集中布置。杆件的对接焊缝距节点或端头的最短距离不得小于 500mm。
- 15.7.2** 空间网格结构不得在五级及五级以上的风力下进行安装；雨雪天气不宜进行安装；当构件上有积雪、结冰、结露时，安装前应清除干净，但注意不要损伤涂层。
- 15.7.3** 支座安装应平整垫实，必要时可用钢板调整，不得强迫就位。
- 15.7.4** 悬挑法施工时，应先拼成可承受自重的几何不变结构体系，然后逐步扩拼。为减少扩拼时结构的竖向位移，可设置少量支架。空间网格结构在拼装过程中应对控制点空间坐标随时跟踪测量，并及时调整至设计要求值，不应使拼装偏差逐步积累。
- 15.7.5** 空间网格结构宜在拼装模架上进行小拼，应保证小拼单元的形状和尺寸的准确性。
- 15.7.6** 螺栓球节点及用高强度螺栓连接的空间网格结构，按有关规定拧紧高强度螺栓后，应对高强度螺栓的拧紧情况逐一检查，压杆不得存在缝隙，确保高强度螺栓拧紧。安装完成后应对拉杆套筒的缝隙和多余的螺孔用油腻子填嵌密实，并应按规定进行防腐处理
- 15.7.7** 空间网格结构宜在安装完毕、形成整体后再进行屋面板及吊挂构件等的安装。

## 16 滑移法安装

### 16.1 材料要求

**16.1.1** 空间结构及桁架安装前应根据现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 对管、球等组件加工的质量进行成品件验收，对超出允许偏差的零部件进行处理。

**16.1.2** 采用高强度螺栓连接时应检查其出厂合格证、扭矩系数或紧固轴力的检验报告应齐全，并按规定作紧固轴力或扭矩系数复验。根据设计图纸要求分规格、数量配套供应到现场。

**16.1.3** 空间结构及桁架安装前应对焊接材料的品种、规格、性能进行检查，各项指标应符合现行国家标准和设计要求，检查焊接材料的质量合格证明文件、检验报告等。重要钢结构采用的焊接材料应进行抽样复验。

**16.1.4** 拼装承重支架可采用钢管脚手架；如采用土建完成框架、圈梁做操作平台，宜采用槽钢等型钢作胎具。

**16.1.5** 钢管脚手架作拼装支架材料应符合下列规定：

1 扣件的铸件材料应采用现行国家标准《可锻铸铁件》GB/T 9440 中所规定的力学性能不低于 KTH330-08 牌号的可锻铸铁或现行国家标准《一般工程用铸造碳钢件标准》GB 11352 中的 ZG230-450 铸钢件制作。扣件和底座应符合现行国家标准《钢管脚手架扣件》GB 15831 中的规定；

2 钢管应平直光滑，无裂缝、分层、硬弯、毛刺、压痕与划道，钢管应有产品合格证，钢管应涂有防锈漆并不得打孔。

**16.1.6** 根据结构类型和大小，滑道可采用圆钢、钢板、角钢、槽钢、钢轨、四氟乙烯板加滚轮等。

**16.1.7** 牵引用的钢丝绳应符合有关规定，不应有断丝。

### 16.2 主要机具

**16.2.1** 吊装设备宜选用起重机。

**16.2.2** 调节拼装支点高度的设备宜选用千斤顶或螺旋式调节器。

**16.2.3** 滑行牵引设备宜选用顶推千斤顶、倒链、手扳葫芦、液压穿心式千斤顶、卷扬机、滑轮组等。

**16.2.4** 顶推设备宜选用螺旋式千斤顶、液压千斤顶等。

**16.2.5** 测量设备宜采用全站仪、经纬仪、水平仪、拉力计、液晶测厚仪、红外测温仪等。

**16.2.6** 焊接及其相关设备宜选用直流弧焊机、交流弧焊机、砂轮、气泵、拷枪、火焰切割工具等。

### 16.3 作业条件

- 16.3.1 施工组织设计应根据正式施工图纸及有关技术文件进行编制，并完成审批。
- 16.3.2 测量仪器及钢尺应进行计量检验复验。
- 16.3.3 验线等技术问题应根据土建提供的纵横轴线和水准点处理完毕。
- 16.3.4 施工平面布置图应划分为材料堆放区、杆件制作区、拼装区和滑移区，构件应按吊装顺序进场。
- 16.3.5 场地应平整夯实，并设排水沟。
- 16.3.6 制作区、拼装区、安装区、滑移区应设置足够的电源。
- 16.3.7 操作平台应搭设完成，并检查其牢固情况。操作平台上进行焊接时，应采取防火措施。
- 16.3.8 高空拼装时，应提前复测拼装支点的纵横轴线及标高。
- 16.3.9 成品件、零部件的几何尺寸、编号、数量等应进行检查。
- 16.3.10 小拼单元应根据起重机的性能预先制作，并采用起重机吊装至设计标高就位拼装。
- 16.3.11 有关测试的安全、消防等准备工作应落实。
- 16.3.12 牵引设备应检查灵敏可靠度，防止失控影响工作。
- 16.3.13 滑道设置应提前检查，滑道拼接处应磨平，防止滑行时出现“啃轨”现象，。
- 16.3.14 滑移单元和滑道的承重支架应进行施工验算。

## 16.4 施工工艺

- 16.4.1 空间结构滑移应按图 16.4.1 规定的工艺流程进行操作。

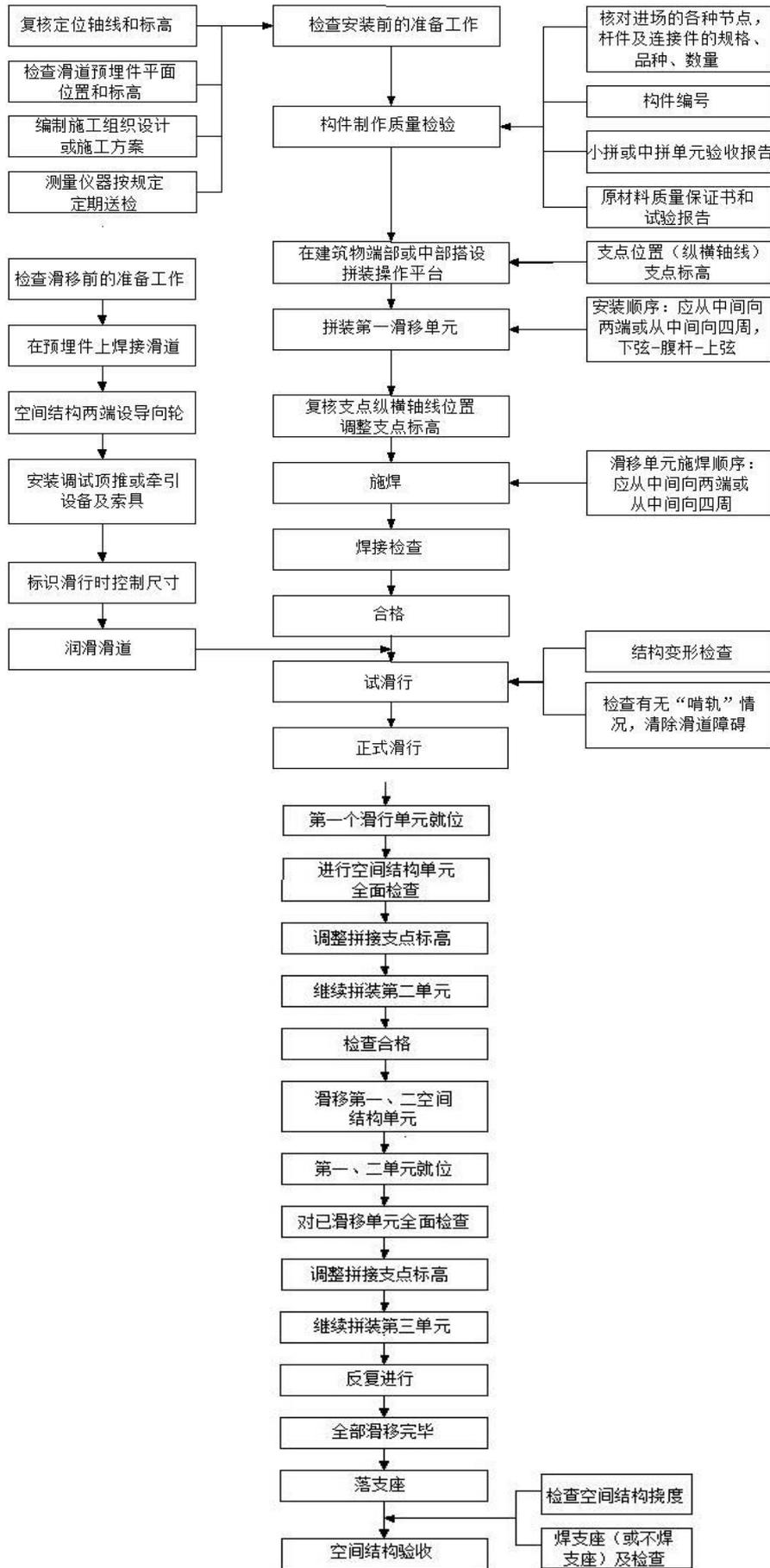


图 16.4.1 空间结构滑移法安装施工工艺流程

#### 16.4.2 滑移施工工艺应符合下列规定：

1 滑移施工工艺应根据结构形式、现场周围环境、滑移设备能力、网格尺寸等采用单条滑移法、逐条累积滑移法或滑架法；

2 根据滑移时力作用的方向，可采用牵引法或顶推法；

3 空间结构在滑移时应至少设置两道滑轨，滑轨间应平行。应根据结构形式采取合理的滑轨支承面角度，减小滑移摩擦力。根据结构支撑情况，滑轨可水平设置，也可倾斜设置，结构可上坡牵引或下坡牵引。当滑轨倾斜时，应采用防止结构在滑移过程中因自重向下滑动的安全措施。曲面空间网格的条状单元可采用辅助支架调整结构的高低；非矩形平面空间网格结构在滑轨两边可对称或非对称将结构悬挑；

4 滑移操作过程应符合下列规定：

1) 滑移单元自身应为几何不变体系，同时应具有足够的刚度，否则应进行加固；

2) 滑移准备工作完毕，应进行全面检查；试滑行 200mm~300mm，应再次检查，方可正式滑行；

3) 空间结构滑移完毕，应检查各部尺寸标高、支座位置；确认其符合设计要求，应对节点进行临时固定，切除成品支座位置的钢轨，然后安装就位成品支座。。

5 挠度控制应符合下列规定：

1) 单条滑移时，施工挠度情况应与分条安装法相同。逐条累积滑移时，如空间结构滑移时的挠度超过形成整体后的挠度，宜增加施工起拱度、开口部分加固网架或增设中间滑轨等；

2) 累计滑移时，应在施工方案设计时验算挠度累计变形值，在施工前统一预留足够变形量，不应在施工中进行挠度变形值的调整；

3) 组合网架无上弦且为钢筋混凝土板时，不应在施工中产生一定挠度后再有抬高等反复变形。设计时应验算组合网架分条后的挠度值，宜适当加高，施工中不应进行抬高调整。

6 滑轨的形式可根据各工程实际情况选用（图 16.4.2）。滑轨与支承结构顶预埋件连接可用电焊或螺栓连接。滑轨的接头应垫实、光滑。当滑动式摩擦滑移时，应在滑轨上涂刷滑润油，滑撬前后都应做成圆弧导角。导向轮宜安装在导轨内侧，间隙宜为 10mm~20mm；

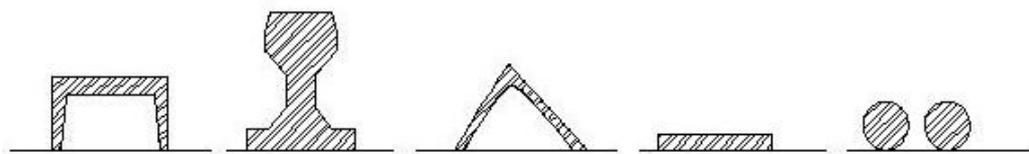


图 16.4.2 各种轨道形式

7 牵引力与牵引速度应符合下列规定：

- 1) 滑移单元水平滑移时的牵引力，当为滑动摩擦时可按式（16.4.2-1）计算：

$$F_t \geq \mu_1 \cdot \zeta \cdot G_{ok} \quad (16.4.2-1)$$

式中： $F_t$ —总启动牵引力；

$G_{ok}$ —空间结构总自重标准值；

$\mu_1$ —滑动摩擦系数，在自然轧制钢表面，经粗除锈充分润滑的钢与钢之间可取 0.12~0.15；

$\zeta$ —阻力系数，当有其他因素影响牵引力时，可取 1.3~1.5。

- 2) 滑移单元水平滑移时的牵引力，当为滚动摩擦时可按式（16.4.2-2）计算：

$$F_t \geq (k/r_1 + \mu_2 r/r_1) \cdot G_{ok} \cdot \zeta_1 \quad (16.4.2-2)$$

式中： $F_t$ —总启动牵引力；

$k$ —钢制轮与钢轨之间滚动摩擦力臂，当圆顶轨道车轮直径为 100mm~150mm 时，取 0.3mm，车轮直径为 200mm~300mm 时，取 0.4mm；

$G_{ok}$ —空间结构总自重标准值；

$\mu_2$ —车轮轴承摩擦系数，滑动开式轴承取 0.1，稀油润滑取 0.08，滚珠轴承取 0.015，滚柱轴承、圆锥滚子轴承取 0.02； $r_1$ —滚轮的外圆半径（mm）；

$r$ —轴的半径（mm）；

$\zeta_1$ —阻力系数，由小车制造安装精度、钢轨安装精度、牵引的不同步程度等因素确定，可取 1.1~1.3。

- 3) 在正常滑移时，两台卷扬机牵引力之比宜为 1:0.7，选用卷扬机功率应适当放大；

4) 空间结构滑移时，牵引速度宜控制在 1m/min 左右。如采用卷扬机牵引，应通过滑轮组降速。当逐条积累较长时，宜增设钩扎点。

- 8 同步控制应符合下列规定：

1) 结构采用两点牵引滑移时，应设置导向轮，牵引速度差应不使导向轮顶住导轨为准。当三点牵引时，除应满足上述要求外，滑移单元不应增加太大的附加内力，允许的不同步值应通过验算确定；

2) 空间结构滑移时两端不同步值不应大于 50mm；各工程在滑移时应根据情况，经验算后自行确定不同步值，两点牵引时应小于上述规定值，三点牵引时经验算后值应更小；

3) 控制同步宜采用整角机同步指示装置，可集中于指挥台随时观察牵引点移动情况，读数精确为 1mm。控制同步也可采用在滑移单元两侧的梁面上标出尺寸，牵引时同时报滑移距离的方法，但三点以上牵引时不适用。

9 滑移到位支座置换前应采取保护措施，底座应保证千斤顶支撑时的强度和稳定，且应能抵抗水平力。

## 16.5 质量标准

**16.5.1** 空间结构滑移安装的质量标准应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205。

**16.5.2** 空间结构滑移安装工程应作为一个分项工程进行验收。

## 16.6 成品保护

**16.6.1** 高强螺栓、焊条及焊丝等，应放置在库房的货架上，防止变潮。

**16.6.2** 已安装完毕的空间结构上不应任意堆放物品，防止集中荷载过大压坏结构杆件。

**16.6.3** 已检测合格的焊缝应及时补刷底漆。

**16.6.4** 成品的面漆和防火涂料不应磕碰。

## 16.7 注意事项

**16.7.1** 滑移方案应根据空间结构型式、现场条件等确定，方案应经多方论证和优化，确保滑移单元的稳定性、挠度及同步控制。

**16.7.2** 对操作平台的承重支承架应做施工验算。

**16.7.3** 空间结构滑移完成后及屋面完成后，应分别测定其挠度值，所测的挠度值不应超过相应设计值的 1.15 倍。

**16.7.4** 采用扣件式钢管脚手架作拼装支架，其结构形式应根据其工作位置、荷载情况、支架高度、场地条件等因素通过计算确定。

**16.7.5** 中间设滑移轨道时，应采取临时加固措施，防止局部杆件内力变号，造成失稳等安全事故。

**16.7.6** 滑移及牵引设备索具应全面检查，试车、试滑后方可正式滑行。

**16.7.7** 活动操作平台使用前应经过鉴定，并安装牢固；采用滑动平台时，应设挡块或安全卡。

**16.7.8** 牵引设备应计算满足，不得超载牵引。

**16.7.9** 拼装支架铺脚手板的操作层上，应设防护栏杆。

**16.7.10** 活动操作平台使用前应经过鉴定，并安装牢固；采用滑动平台时，应设挡块或安全卡。

## 17 整体吊装法安装

### 17.1 材料要求

**17.1.1** 空间结构安装前应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 对管、球加工的质量进行成品件验收，对超出允许偏差的零部件进行处理。

**17.1.2** 空间结构用高强螺栓连接时应检查其出厂合格证、扭矩系数或紧固轴力的检验报告应齐全，并应作紧固轴力或扭矩系数复验。

**17.1.3** 空间结构安装前应对焊接材料的品种、规格、性能进行检查，各项指标应符合现行国家标准和设计要求，检查焊接材料的质量合格证明文件、检验报告等。重要钢结构采用的焊接材料应进行抽样复验。

**17.1.4** 起重用的钢丝绳、滑轮组钢丝绳、缆风钢丝绳应合格、无断丝。

**17.1.5** 地锚所用的材料道木、钢筋、混凝土等材料应符合有关规定要求。

### 17.2 主要机具

**17.2.1** 空间结构整体吊装应准备的主要机具见表 17.2.1，设备型号和数量应根据工程实际情况确定。

表 17.2.1 主要机具

设备名称	用途
起重机、拔杆	根据空间结构重量而定起重机或拔杆的型号、台数
吊装索具	吊装
千斤顶、螺旋式调节器	调节拼装支点高度
交流弧焊机	焊接球节点与杆件焊接
直流弧焊机	碳弧气刨修补焊缝
空气压缩机	配合碳弧气刨用
砂轮	打磨焊缝
全站仪、经纬仪、水平仪、钢尺	测量
测厚仪	空心球壁厚测量
温度计	焊接预热温度
烤枪	焊接预热
火焰切割工具	切割

**17.2.2** 测量设备应经过检定。

### 17.3 作业条件

**17.3.1** 根据正式施工图纸及有关技术文件编制施工组织设计，施工组织设计应完成审批。

**17.3.2** 测量仪器及钢尺应进行计量检验复验。

**17.3.3** 验线等技术问题应根据土建提供的纵横轴线和水准点处理完毕。

**17.3.4** 施工平面布置图应划分为材料堆放区、杆件制作区、拼装区、堆放区和安装区，构件应按吊装顺序进场。

**17.3.5** 场地应平整夯实，并设排水沟。

**17.3.6** 制作区、拼装区、安装区应设置足够的电源。

**17.3.7** 安装操作平台应搭设完成，并检查其牢固情况。

**17.3.8** 成品件、零部件的几何尺寸、编号、数量等应进行检查。

**17.3.9** 有关测试的安全、消防等准备工作应落实。

**17.3.10** 吊装的吊点位置和数量的选择，应符合下列规定：

- 1 应与网架结构使用时的受力状况一致或经过验算杆件满足受力要求；
- 2 吊点处的最大反力应小于起重设备的负荷能力；
- 3 各起重设备的负荷宜接近。

**17.3.11** 吊装方法选定后，应分别对空间结构施工阶段吊点的反力、杆件内力和挠度、支承柱的稳定性和风荷载作用下空间结构的水平力等项进行验算，必要时应采取加固措施。

**17.3.12** 验算荷载应包括吊装阶段结构自重和各种施工荷载。吊装阶段的动力系数拔杆吊装宜取 1.3；履带式或汽车式起重机吊装时宜取 1.4。参与空间结构施工的测工、电焊工、起重机司机、信号工等人员应持证上岗。

**17.3.13** 支座纵横轴线及标高应进行检查。

**17.3.14** 检查起重机设备应安全可靠，并进行空载试验。

**17.3.15** 拔杆、缆风、地锚、滑轮组等应进行检查。

## 17.4 施工工艺

**17.4.1** 钢结构吊装应按图 17.4.1 规定的工艺流程进行操作。

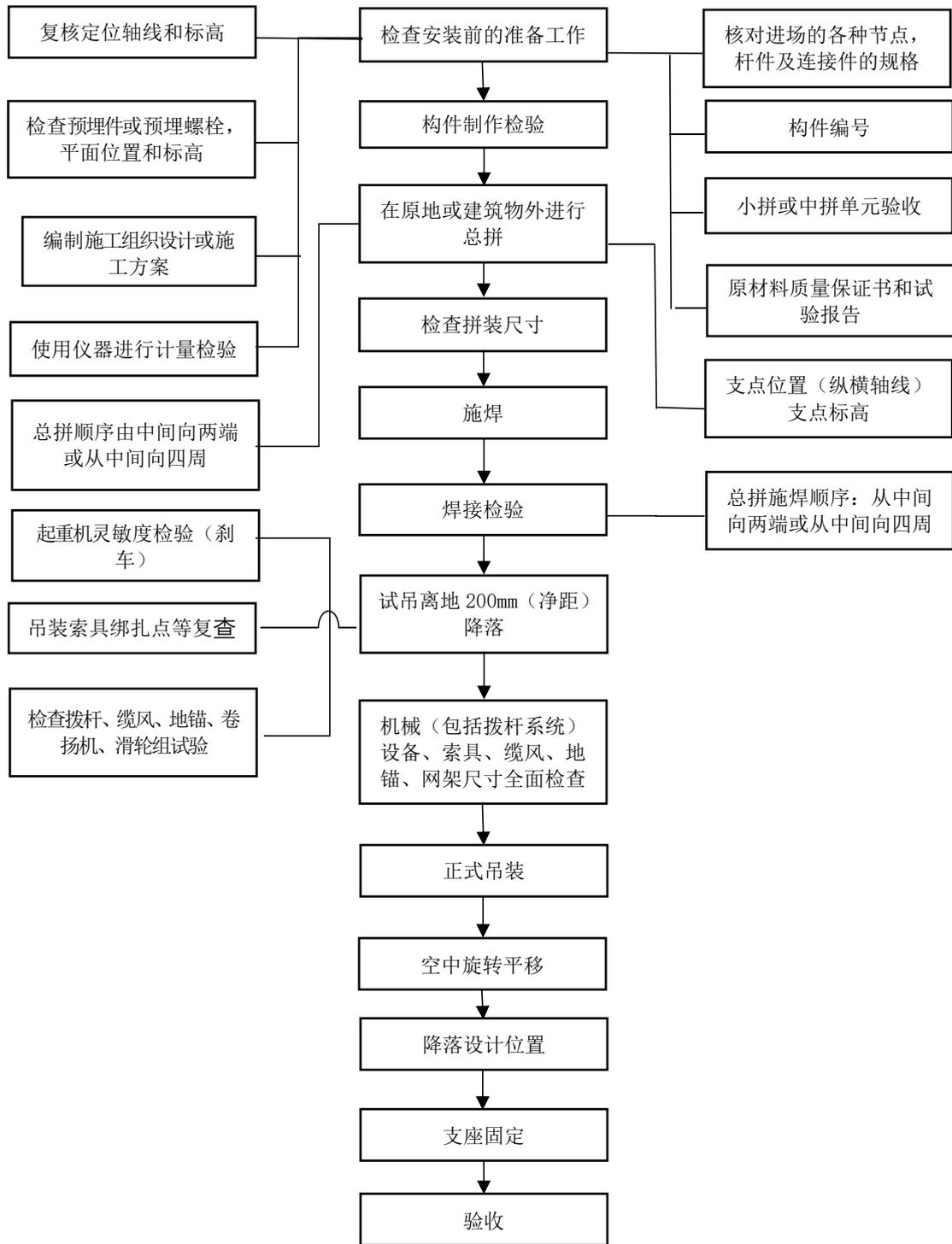


图 17.4.1 钢结构整体吊装工艺流程

17.4.2 整体吊装工艺应符合下列规定：

1 应根据空间结构的形式、起重机或拔杆的起重能力，在建筑物内部或建筑物外侧进行总体拼装；

2 总体拼装及焊接应采用从中间向两端或从中间向四周的顺序；

3 进行试吊前应全面检查起重设备、拔杆系统、缆风、地锚、吊索具、滑轮组、空间结构的尺寸、指挥信号等；

4 试吊后方可进行正式吊装；

5 空中移位、旋转应同步，并确保安全；

6 空间结构吊装应降落在支座上，支座安装时应对其纵横轴线和标高进行检查；

7 吊装完成后应进行验收。

#### 17.4.3 空间结构空中移位应符合下列规定：

1 采用多根拔杆吊装空间结构时，可利用每根拔杆两侧起重机滑轮组中产生水平力不等原理推动空间结构平移或转动就位（图 17.4.3-1）；

2 空间结构吊装设备可根据起重滑轮组的拉力进行受力分析，提升或就位阶段可分别按下列公式计算起重滑轮组的拉力：

1) 提升阶段（图 17.4.3-1a）每根拔杆两侧滑轮组夹角应相等，上升速度应一致；

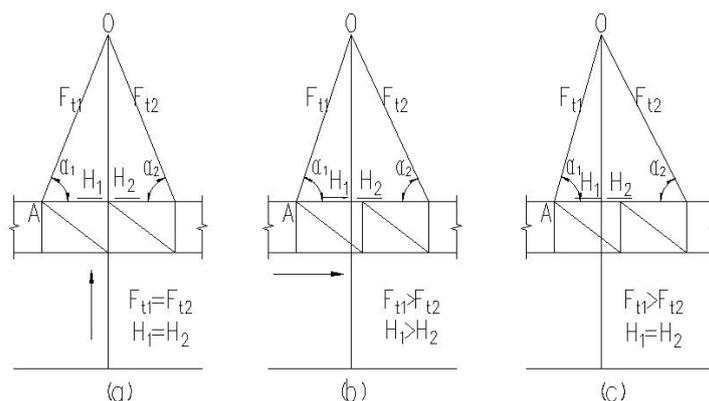


图 17.4.3-1 空间结构空中移位力学分析图

a 提升阶段；b 空中移位阶段；c 就位阶段

$$F_{t1} = F_{t2} = \frac{G}{2\sin \alpha_1} \quad (17.4.3-1)$$

2) 在空中移位时（17.4.3-1b）每根拔杆放松一侧的钢丝绳拉力  $F_{t2}$  变小，另一侧  $F_{t1}$  增大，两边的水平分力  $H_1$  大于  $H_2$ ；

3) 就位阶段（图 17.4.3-1c） $H_1$  等于  $H_2$ ，空间结构及桁架恢复平衡；

$$F_{t1}\sin\alpha_1 + F_{t2}\sin\alpha_2 = G \quad (17.4.3-2)$$

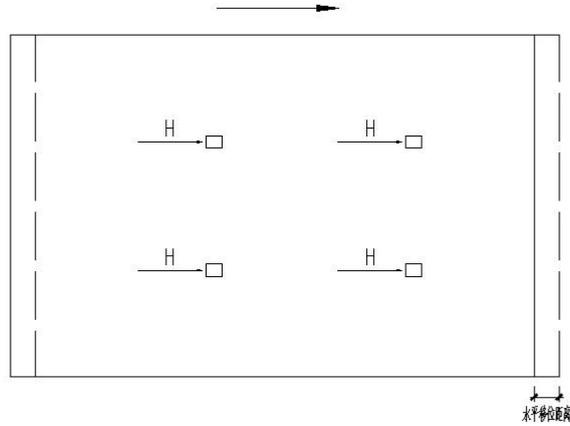
$$F_{t1}\cos\alpha_1 = F_{t2}\cos\alpha_2 \quad (17.4.3-3)$$

式中： $G$ —每根拔杆所担负的空间结构、索具等荷载（kN）；

$F_{t1}$ 、 $F_{t2}$ —起重滑轮组的拉力（kN）；

$\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ —起重滑轮组钢丝绳与水平面的夹角（rad）；

- 4) 空间结构空中移位时,可用图解法或计算法确定空间结构移动距离或转动角度与空间结构下降高度;
- 5) 空间结构空中移动时,可采用4根拔杆对称布置(图 17.4.3-2),拔杆起重滑轮组与拔



杆所构成的起重平面方向应一致,且平行于空间结构的一边。

图 17.4.3-2 空间结构空中移位示意图

注: H 代表结构空中移位时拔杆水平分力

空间结构空中旋转(图 17.4.4)时,拔杆应布置在同一圆周上,起重平面应垂直于空间结构半径。

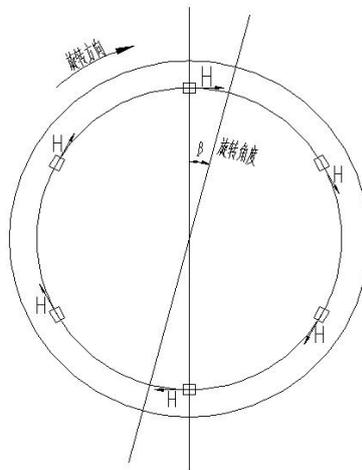


图 17.4.4 空间结构空中旋转示意图

**17.4.4** 中小跨度空间结构,可采用单根拔杆吊装,空中移位可通过收紧缆风绳摆动拔杆顶端,并辅以四角拉索。

**17.4.5** 在空间结构整体吊装时应保证各吊点起升及下降的同步性。提升高差允许值可取吊点间距离的 1/400,且不大于 100mm。当遇到特殊情况时,可通过验算或试验确定。

**17.4.6** 多根拔杆整体提升的空间结构应保持拔杆顶端偏移值最小，缆风绳的初拉力可适当加大。

**17.4.7** 多机抬吊的折减系数及升降速度应符合下列规定：

1 双机抬吊应选用起重性能相似的起重机进行。抬吊时应统一指挥，动作应配合协调，载荷应分配合理，起吊重量不得超过两台起重机在该工况下允许起重量总和的 75%，每台起重机起重载荷不得超过允许载荷的 80%；

2 多机抬吊各起重机抬折减系数和荷载降低系数应根据设备情况及工程实际进行多工况复核算，并按相关标准执行；

3 工程实践中，起重机的起重量采用荷载降低系数后不满足吊装空间结构的要求，可采取措施，适当放宽折减系数；

4 多机抬吊时起重机吊钩升降速度应一致。

## 17.5 质量标准

**17.5.1** 空间结构整体吊装法安装的质量标准应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205。

**17.5.2** 空间结构整体吊装工程应作为一个子分部工程进行验收。

## 17.6 成品保护

**17.6.1** 高强螺栓、焊条及焊丝等，应放置在库房的货架上，防止变潮。

**17.6.2** 已安装完毕的空间结构上不应任意堆放物品，防止集中荷载过大压坏结构杆件。

**17.6.3** 已检测合格的焊缝应及时补刷底漆。

**17.6.4** 成品的面漆和防火涂料不应磕碰。

## 17.7 注意事项

**17.7.1** 技术质量应符合下列规定：

1 整体吊装块的大小、重量应根据空间结构的结构形式、起重机械性能及现场条件确定，吊装方案要按要求审批，涉及到超危大的要经过专家论证，吊装方案宜经多方论证和优化，确保空间结构整体吊装过程的安全性；

2 大吨位起重滑轮组的钢丝绳穿绕方法应正确，确保吊装工作的顺利进行；

3 钢丝绳穿绕方法宜采用顺穿或花穿形式；

4 起重机或拔杆性能、构件吊装重量、起重滑轮组、铁扁担、吊索具、缆风绳、地锚、卷扬机或搅磨、地基、吊点、空间结构空中移位、拔杆拆除等均应进行验算，必要时可进行试验检查。

**17.7.2** 安全措施应符合下列规定：

- 1 拼装支架应符合稳定性要求，确保安全生产；
- 2 采用扣件式钢管脚手架作拼装支架，其结构形式应根据其工作位置、荷载情况、支架高度、场地条件等因素通过计算确定；
- 3 拼装支架铺脚手板的操作层上，应设防护栏杆；
- 4 活动操作平台使用前应经过鉴定，并安装牢固；采用滑动平台时，应设挡块或安全卡；
- 5 吊装过程中应确保空间结构的整体稳定，必要时可采取加固措施；
- 6 起重机械、拔杆设备、各部件应灵敏可靠；索具、滑轮组、缆风、地锚等应进行专职检查，防止失误；
- 7 吊装过程应统一指挥，定岗责任到人，并按操作规则及程序，进行培训；
- 8 吊装过程应进行试吊 500mm，全部检查无误，方可正式起吊；
- 9 根据空间结构重量确定采用单机吊装或多机抬吊；采用多机抬吊时，其额定起重能力应乘以 0.75 的系数；
- 10 现场起重机行驶道路应平整、坚实；
- 11 起重机型号、起吊速度宜统一；应确保同步起升或下降；
- 12 采用拔杆安装时，应根据空间结构重量确定采用单根或多根拔杆；拔杆集群吊装时，其额定起重能力应乘以 0.75 的系数；
- 13 支承柱上设有凸出构造时，应采取措施防止空间结构在提升过程中被凸出构造卡住；
- 14 拔杆的拆除应按拆装方案进行施工，确保空间结构的安全；
- 15 卷扬机规格宜保持一致，线速度差不应太大，防止不同步造成事故。

## 18 整体提升法安装

### 18.1 材料要求

- 18.1.1** 整体提升宜采用计算机控制液压同步提升系统。
- 18.1.2** 钢绞线应采用高强度低松弛预应力钢绞线，钢绞线应符合国家标准《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224 的规定。
- 18.1.3** 提升油缸宜为穿芯式结构，功能性试验和耐久性试验应合格。
- 18.1.4** 液压泵站液压系统宜采用比例阀控制油缸压力。

### 18.2 主要机具

- 18.2.1** 整体提升常用的主要机具宜配备提升油缸、液压泵站、钢绞线、倒链、卷扬机、穿心千斤顶。
- 18.2.2** 整体提升常用工具宜配备手拉葫芦、角向磨光机、切割机、钢卷尺、配电箱、电缆线、吊具（吊钩、卸扣）等。
- 18.2.3** 主要计量检测用具配备全站仪、经纬仪、水准仪、电子测距仪、检测尺、钢卷尺等。

### 18.3 作业条件

- 18.3.1** 钢结构提升单元宜在其安装位置的投影面正下方地面或楼面上拼装成整体提升单元。
- 18.3.2** 在结构柱和格构柱的柱顶设置提升平台进行安装，并应符合专项方案设计要求。
- 18.3.3** 临时支承在倒用过程中应满足工程施工进度要求，确保临时支承等工装设备在使用周期内安全、稳定、牢靠。
- 18.3.4** 临时吊具应安装完毕并符合专项方案中设计要求。
- 18.3.5** 应已根据专项方案中设计要求完成包括液压泵源系统、提升器、钢绞线、传感器等提升设备的安装。
- 18.3.6** 根据设计图纸要求完成提升设备轴线、标高定位测量放线完成，并经验线合格通过验收。
- 18.3.7** 在钢结构提升前，应完成提升结构柱和格构柱验算。

### 18.4 施工工艺

- 18.4.1** 应选择合理的提升点位，宜选择原结构支承点作为提升点，对千斤顶和油泵进行合理布置，同时在提升过程中，通过高精度得测量监控随时进行计算机整体联动调整。
- 18.4.2** 计算机控制系统的压力传感器宜布置在每一个提升点的油缸组，安装在油缸的大腔侧。锚具及油缸智能传感器宜布置在每个油缸的上下锚具上，并在主缸上安装 1 只油缸位置传感器。应将各种传感器通过通讯模块进行连接。

**18.4.3** 在施工准备期间，划分场地用于设备存储和钢绞线切割准备以及设备临时中转。组织相关提升施工人员熟悉提升现场施工工艺，同时了解施工过程中的安全防护。

**18.4.4** 钢绞线切割操作时，整捆钢绞线解散前应放在铁框内或用脚手架搭设方框约束钢绞线。操作人员应戴手套操作，将钢绞线从内圈拉出不应松手。切割钢绞线前应先确认好长度，固定后再切割钢绞线。

**18.4.5** 钢绞线切割应设定安全区域，无关人员不许入内，操作人员应戴手套操作，打磨钢绞线人员应在安全位置按规定打磨。

**18.4.6** 钢绞线应存放在干净区域，不应在泥地放置，钢绞线不应过电损伤。钢绞线应用彩条布盖住，防止电焊、火焰切割等对钢绞线造成损伤。

**18.4.7** 提升点泵站位置应布置一个 380V 三相四线配电箱。钢绞线切割场地应配置 380V 三相四线配电箱，主控室应配置 220 电源插座。

**18.4.8** 提升设备安装应符合下列规定：

1 提升器钢绞线外接孔与支承通孔中心对齐，钢绞线与支承通孔壁不能碰擦。提升器的液压锁方位应便于与液压泵站之间的油管装拆。提升器与提升支架之间采用“L”形压板进行固定，每台提升器设置四块压板，焊接在提升支架上，压板与提升器之间不焊接（图 18.4.9）；

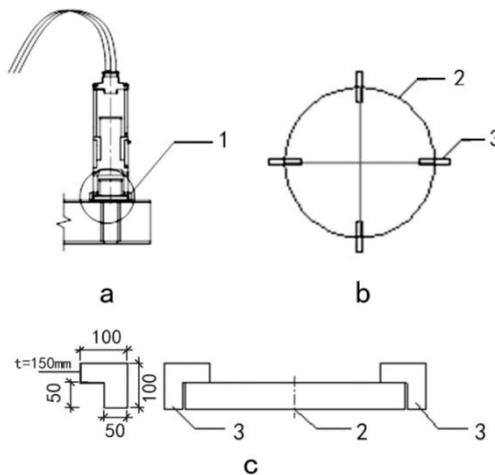


图 18.4.9 提升器压板布置示意图

a 提升器安装示意。 b 压板平面布置。 c 压板立面布置

1—提升器与平台采用压板固定；2—提升器下底板；3—压板

2 导向架导出方向应方便装拆油管、传感器和不影响钢绞线自由下坠。导向架横梁离安全锚高宜为 1.5m~2m。钢绞线导出部分后，应把钢绞线扎成捆，不致分散；

3 地锚安装时，上下提升点的垂直偏斜宜小于  $1.5^\circ$ ，宜用压板将地锚固定于提升吊具中，每个地锚宜用 3 块压板固定，应留有一定空隙，使地锚可沿圆周方向自由转动，钢绞线与孔壁不应碰擦；

#### 4 钢绞线安装施工应符合下列规定：

- 1) 钢绞线应经检查，无折弯、疤痕和严重锈蚀。根据现场情况确定钢绞线的具体穿法且上下约定一致。宜先穿外圈的小部分，后穿内圈全部，再将外圈剩余的穿完；
- 2) 宜用砂轮切割机或割刀将钢绞线切割成所需的长度。用打磨机将钢绞线两头打磨成锥形，端头不得有松股现象；
- 3) 应将疏导板安装于提升支架下侧，调整疏导板孔的位置，使其与提升器各锚孔对齐，并将疏导板用软绳绑于提升支架下部；
- 4) 应用导管自上而下检查提升器的安全锚、上锚、中间隔板、下锚、应急锚和疏导板孔，做到上下 6 层孔对齐；
- 5) 单根钢绞线偏转角度应小于  $15^{\circ}$ ，上下提升点垂直偏斜应小于  $1.5^{\circ}$ ；
- 6) 提升器中的钢绞线应使左旋钢绞线和右旋钢绞线间隔穿入；
- 7) 顶开安全锚压锚板时，应将钢绞线从安全锚穿过各个锚环及疏导板。钢绞线在安全锚上方露出适当长度。每穿好 2 根钢绞线后，应用夹头将钢绞线两两夹紧；
- 8) 应按照施工方案配置的数量穿好所有钢绞线，并用上、下锚具锁紧；
- 9) 每束钢绞线中短的一根下端应用夹头夹住，防止疏导板从一束钢绞线上滑脱。用软绳放下疏导板至下提升点上部，按基准标记调整疏导板的方位；
- 10) 应调整地锚孔位置，使其与疏导板的孔对齐。按顺序依次将钢绞线穿入地锚中并理齐，端头宜留出大于 200mm 的长度，用地锚压锚板锁紧钢绞线；
- 11) 钢绞线如参差不齐，可用适当方法逐一张紧，使每根钢绞线有 10kN 左右的预张力。

5 液压泵站与提升器的油管连接前，应检查液压泵站、控制系统与液压提升器，编号应对应，油管连接应使主液压缸伸、缩，锚具液压缸松、紧正确。液压油应符合冬季施工，防止冻结；

#### 6 各传感器与控制系统的连接应符合下列规定：

- 1) 行程传感器安装时应调整好位置，确保在在提升器伸缸时不干涉，拉线垂直，调整好传感器拉线位置；
- 2) 上、下锚具传感器应安装正确、牢固，上锚具的信号线在运动中应不受干涉；
- 3) 油压传感器应接在主缸大腔；
- 4) 传感器及其信号线应采取防水措施。

7 应将提升器与液压泵站电缆连接，并连接传感器线和提升器线，主液压缸和截止阀应对应；

#### 8 液压泵站与控制系统线路连接应符合下列规定：

- 1) 配电箱应满足功率要求，安装在安全的地方，并应可靠固定；

- 2) 控制系统的控制方位、位置应便于观测、操作，并应有防雨措施，可靠固定；
- 3) 控制网路的电源线、网络线、扩展线、液压油缸线、液压泵站线等的连接应做到接线整齐、有序。

9 液压泵站的动力电缆连接应在无电情况下操作，应采用 380V 三相五线交流工业电源；

10 控制系统输入电源应为 220V 交流电源。

#### 18.4.9 设备调试应符合下列规定：

1 应对液压泵站所有阀和油管的接头进行一一检查，同时使溢流阀的调压弹簧处于完全放松状态。检查油箱液位应处于适当位置；

2 分别启动大、小电机，从电机尾部看，顺时针旋转为正确。若不正确，交换动力电缆任意两根相线；

3 应在液压泵站不启动的情况下，手动操作控制柜中相应按钮，检查控制系统、泵站截止阀编号和提升器编号应一一对应，电磁换向阀和截止阀的动作应正常；

4 检查液压泵站、控制系统与液压提升器编号应对应，油管连接应能使主液压缸伸、缩，锚具液压缸松、紧应正确；

5 检查安全锚，位置应正确，在未正式工作时应能有效阻止钢绞线下落。地锚位置应正确，锚片应能够锁紧钢绞线；

6 系统检查应符合下列规定：

- 1) 使用 ID 设置器，设置地址，检查行程和锚具传感器，信号应正确；
- 2) 启动液压泵站，在提升器安全锚处于正常位置、下锚紧的情况下，松开上锚，主液压缸及上锚具液压缸空载伸、缩数次，排除系统空气。调节一定的伸缸、缩缸油压及锚具液压缸油压；
- 3) 调整行程传感器调节螺母，使行程传感器在主液压缸全缩状态下的行程数值为 0；
- 4) 检查截止阀能否截止对应的液压缸；
- 5) 检查比例阀在电流变化时能否加快或减慢对应主液压缸的伸缩速度。

7 钢绞线张拉应符合下列规定：

- 1) 用适当方法使每根钢绞线处于基本相同的张紧状态；
- 2) 调节一定的伸缸压力（3MPa）对钢绞线整体进行预张紧。

#### 18.4.10 结构正式提升应符合下列规定：

1 提升过程控制要点，为确保结构单元及主楼结构提升过程的平稳、安全，根据结构钢结构的特性，采用“提升点油压均衡，结构姿态调整，位移同步控制，分级卸载就位”的同步提升和卸载落位控制策略；

2 提升应分级加载，并应符合下列规定：

1) 通过试提升过程中对结构提升设施、提升设备系统的观察和监测，确认符合模拟工况计算和设计条件，保证提升过程的安全；

2) 以计算机仿真计算的各提升点反力值为依据，对结构钢结构单元进行分级加载（试提升），各提升点处的液压提升系统伸缸压力应缓慢分级增加，依次为 20%、40%、60%、80%。在确认各部分无异常的情况下，可继续加载到 90%、95%、100%，直至结构钢结构全部脱离拼装胎架；

3) 在分级加载过程中，每一步分级加载完毕，均应暂停并检查如：上提升点、下提升点等加载前后的变形情况，以及主楼结构的稳定性等情况。一切正常情况下，继续下一步分级加载；

4) 当分级加载至结构即将离开拼装胎架时，可能存在各点不同时离地时，应降低提升速度，并密切观察各点离地情况，必要时做“单点动”提升。确保结构钢结构离地平稳，各点同步。

3 结构离地检查时，结构单元离开拼装胎架约 200mm 后，应利用液压提升系统设备锁定，空中停留 12h 以上作全面检查（包括提升点结构，承重体系和提升设备等），并将检查结果以书面形式报告现场总指挥部。各项检查正常无误，再进行正式提升；

4 应进行姿态检测调整，用测量仪器检测各提升点的离地距离，计算出各提升点相对高差。通过液压提升系统设备调整各提升点高度，使结构达到水平姿态；

5 应整体同步提升，以调整后的各提升点高度为新的起始位置，复位位移传感器。在结构整体提升过程中，保持该姿态直至提升到设计标高附近；

6 应按照施工方案的设备配置液压油管的长度及泵站的配置数量，整体提升速度宜为 6m/h；

7 应根据需要对整个液压提升系统中各个提升点的液压提升器进行同步微动（上升或下降），或者对单台液压提升器进行微动调整。微动即点动调整精度可达到毫米级，满足结构钢结构单元安装的精度需要；

8 结构提升至接近设计位置后应暂停，对各提升点微调精确提升到设计位置。到达设计位置后液压提升系统设备应暂停工作，保持结构单元的空中姿态进行高空合拢；

9 卸载与提升设备拆除时，应在后装杆件全部安装完成后进行卸载工作。按计算的提升载荷为基准，所有提升点应同时下降卸载 10%。应调整泵站频率，放慢下降速度，密切监控计算机控制系统中的压力和位移值。当提升点载荷超过卸载前载荷的 10%，或者提升点位移不同步达到 10mm，应停止其它点卸载，单独卸载异常点，重复操作直至钢绞线彻底松弛。

**18.4.11 检测监控应符合下列规定：**

1 提升就位后，测量人员应通过测量仪器配合测量各监测点位移的准确数值，测量人员通过全站仪循环监测各提升点数值；

2 整体提升应按照专项施工方案进行，在提升过程中，专业技术人员应全面检测液压设备的工作状态，提升过程应处于安全可控状态。

3 测量工具检测监控应符合下列规定：

- 1) 结构提升应分为三步进行：第一步，现将结构提升至距离支墩 200mm，停留 24h 做全面检查并设点永久挠度及提升过程变形测设点。第二步，提升过程中宜 2m~3m 检测一次同步情况。第三步，将整体结构提升至设计标高；
- 2) 检测频度应随着结构提升步骤不同，而相应发生变化。可根据实际情况考虑；
- 3) 结构提升时，应选择每个提升点作为提升位移观测点，在每个观测点下方悬挂一把盘尺，用水平仪进行观测，并做好记录与计算机监控数据进行比较，如实测位移值超过控制值，应进行调校后再进行提升；
- 4) 应对主体结构在结构提升过程中的杆件应力变形宜进行第三方检测监测。

## 18.5 质量标准

18.5.1 当采用穿心式液压千斤顶提升结构时，相邻提升点不同步应为相邻距离的 1/250，且不应大于 25mm，不同步计算时最高点与最低点提升差值宜按 50mm 计算。

18.5.2 根据现场设备实际测量精度，各点提升力偏差不超过 10%，计算时按 20%考虑。

18.5.3 提升计算中，应对同一提升点进行位移和反力不同步影响计算，同步提升与不同步影响下杆件应力比均应符合设计要求。

18.5.4 正在提升结构提升过程中处于弹性状态，弯曲变形小于提升点距离应符合设计要求。

18.5.5 应根据提升过程中风荷载等水平荷载，控制每个提升支架能够承受的水平力符合设计要求。

## 18.6 成品保护

18.6.1 露天堆放的钢构件、油缸等，应搁置在干燥无积水处，底层垫枕应有足够的支承面。

18.6.2 钢构件倒运过程中应对构件漆层进行保护。

18.6.3 在拼装、安装作业时，应避免碰撞、重击及现场焊接过多辅助构件影响母材质量。

18.6.4 进行结构的吊装、提升验算，避免提升点设计不当，造成构件永久变形。

## 18.7 注意事项

18.7.1 雨天作业时，应采取必要的防滑措施，夜间作业应有充足的照明，当风速 10m/s 时，部分吊装工作应该停止，当风速达到 15m/s 时，所有工作应停止。

18.7.2 吊装时，高空作业人员应站在操作平台、吊篮、梯子上作业，吊装钢梁时应在其上弦加设安全防护支架，并应在工作上方拉安全钢丝绳，不得在未加固定的构件上行走。

**18.7.3** 高空作业人员所携带各种工具、螺栓等应在专用工具袋中放好，在高空传递物品时，应挂好安全绳，不得随便抛掷。

**18.7.4** 吊装时钢丝绳如出现断胶、断钢丝和缠结应立即更换，一天吊装工作结束时，应将已安装的钢结构构件进行固定，不应发生意外。

## 19 整体顶升法安装

### 19.1 材料要求

**19.1.1** 顶升作业时千斤顶的起重量不超负荷，千斤顶的起重能力宜大于重物重力 1.5 倍，使用几台千斤顶联合顶升同一设备时，应选用同一型号的千斤顶，且每台千斤顶的额定起重量不得小于所承担设备重力 1.2 倍，千斤顶的最小高度应与重物底部施力处的净空相适应。

**19.1.2** 千斤顶在使用前应擦拭干净，并应检查各部件应灵活，不应有损伤。液压千斤顶的油阀、活塞、皮碗应完好，油液应干净。

**19.1.3** 液压系统由计算机控制，可自动完成同步位移，实现力和位移的控制、位移误差的控制、行程控制、负载压力控制。油缸液控单向阀及机械自锁装置可防止任何形式的系统及管路失压。

### 19.2 主要机具

**19.2.1** 特质液压油缸、液压泵站、组合顶升支承架、顶升控制系统、专用顶升底盘、手拉葫芦、扳手、卷尺、全站仪、经纬仪。

**19.2.2** 测量仪器应经过检定。

### 19.3 作业条件

**19.3.1** 钢结构顶升单元在其安装位置的投影面正下方地面（楼面）上拼装成整体顶升单元。

**19.3.2** 顶升支架基础施工完毕，并符合专项方案设计要求。

**19.3.3** 顶升支架在倒运过程中应满足工程施工进度要求，确保顶升支架等工装设备在使用周期内安全、稳定、牢靠。

**19.3.4** 根据专项方案中设计要求完成顶升设备，包括液压泵源系统、顶升器、传感器等的安装。

**19.3.5** 根据设计图纸要求完成顶升设备轴线、标高定位测量放线完成，并经验线合格通过验收。

**19.3.6** 顶升支架得材料应符合有关标准，采用原有结构柱作为顶升支架，或另设顶升支架，应进行稳定性验算，保证满足要求。

### 19.4 施工工艺

**19.4.1** 整体顶升发施工宜按图 19.4.1 规定的工艺流程进行。

**19.4.2** 将地面平整、硬化，在的地面投影点分别拼装。

**19.4.3** 钢结构顶升前应进行自检，检查焊缝应合格，轴线应准确。确认所有数据均符合设计要求后进行顶升。

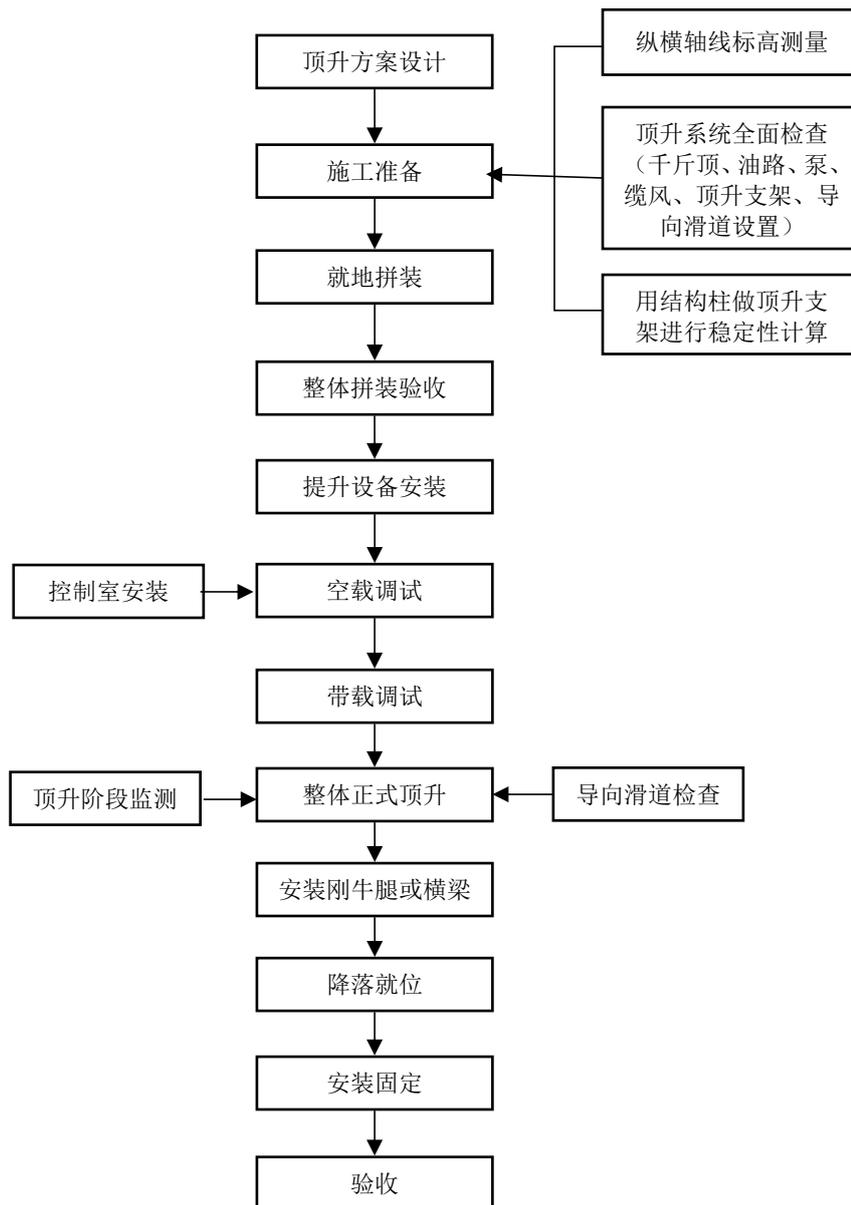


图 19.4.1 整体顶升法施工工艺流程

**19.4.4** 钢结构顶升前应选好临时顶升点。如果钢结构顶升过程中刚度不够，应对被顶升的钢结构进行加固。

**19.4.5** 根据施工方案布置顶升千斤顶和顶升支承架，应在设计顶升千斤顶位置安装顶升千斤顶和顶升支承架。

**19.4.6** 安装液压同步顶升系统，包括液压顶升器、液压泵源系统、控制系统等。

**19.4.7** 安装完成后应调试液压同步顶升系统。

**19.4.8** 正式顶升前应先进进行试顶升，液压顶升同步系统采取分级加载的方法进行预加载，宜采用设计顶升力的 20%、40%、60%、70%、80%、90%、100% 的顺序依次加载，直至结构脱离拼装胎架并顶升 150mm~200mm，空中停留，单点调整各个顶升点的标高，使得结

构处于水平状态，观测 12h，如有变形可及时加固，同时还应观察顶升设备的承载能力，宜保持各项升点同步，防止倾斜。

**19.4.9** 试顶升正常后应进行正式顶升，在确保同步顶升系统设备、临时支承措施及支承结构安全的情况下，同步顶升。

**19.4.10** 当钢结构焊接、拼装完成部分检查验收合格后，应连续不断地逐步顶升。提升到相应的平台高度后对网架进行拼装、焊接，平台焊接完成后，继续提升直至下个平台上的拼装、焊接。

**19.4.11** 顶升机每顶升一节格构式承重架，将下一节格构式承重架接好，在顶升过程中，液压顶升设备顶升高度超过 15m 后，应在顶升设备四个方向设置揽风绳，每根揽风绳靠近地面端设置一个稳定倒链，倒链规格根据计算拉力确定，钢结构顶升完成后，紧固倒链，使揽风绳受力，等结构顶升时，放松倒链，使结构能自由顶升。

**19.4.12** 钢结构顶升至设计位置，检查钢结构各支座受力情况，检查钢结构的拱度和起拱度，检查钢结构的整体尺寸。

**19.4.13** 钢结构顶升至设计标高后安装周边节点和杆件。

**19.4.14** 焊缝质量检查合格后卸载并拆除设备，拆除设备应缓慢进行，防止结构局部变形，先将合拢用的各种倒链分头拆除，恢复钢结构的自然状态，最后分别拆除每一格构式承重架。

## 19.5 质量标准

**19.5.1** 整体顶升时，各项升点的允许差值为各相邻顶升支柱间距的 1/1000，且不大于 10mm。

**19.5.2** 顶升塔架的安装应垂直，顶升塔架的中心点应与地面定位中心点重合，结构整体离开地面后其受力中心不应移位，造成不安全的因素。

**19.5.3** 顶升塔架垂直度偏差不大于顶升塔架高度的 1/500。

**19.5.4** 千斤顶中心与顶升结构中心线偏移值不应大于 5mm。

## 19.6 成品保护

**19.6.1** 相同的构件叠放时，各层钢构件的支点应在同一垂直线上，防止钢构件被压坏或变形。

**19.6.2** 露天堆放的钢构件、油缸等，应搁置在干燥无积水处，防止锈蚀，底层垫枕应有足够的支承面，防止支点下沉。

**19.6.3** 钢构件倒运过程中，应注意构件表面防腐底漆及中间漆保护。

**19.6.4** 在拼装、安装作业时，应避免碰撞、重击及现场焊接过多辅助构件影响母材质量。

**19.6.5** 进行结构的顶升验算，避免提升点设计不当，造成构件永久变形。

## 19.7 注意事项

**19.7.1** 在每次顶升结束后，应将结构和塔架都用倒链拉紧，防止结构因风力等外力影响发生晃动。若在顶升期间遇五级及以上大风，四角尚应另加倒链直接拉紧，电源拉闸。

**19.7.2** 在顶升过程中，应安排专人进行安全巡视，重点巡视揽风绳的受力变化，以及现场非正常声音，发现问题，及时报告顶升指挥长。

**19.7.3** 顶升前对顶升塔架及塔架基础均进行抄平，标注统一刻度线，并核实盘尺数值正确，顶升 200mm 后，再次对结构和顶升塔架及塔架基础均进行抄平，若因此导致两点间高低差大于 12mm，则应进行调平。

**19.7.4** 结构顶升过程中，当任何两点间的高度差达到 12mm 时，高点位置电磁阀自动关闭，待顶升低点与该高点顶升高度差为零时，高点位置电磁阀重新联通，继续该点的顶升。顶升作业时划定危险区域，挂设安全标记，加强安全警戒。

## 20 索结构安装

### 20.1 材料要求

**20.1.1** 钢索材料、紧固件以及涂料的品种、规格、性能应符合国家现行产品标准和设计要求，并具有质量合格证明文件。

**20.1.2** 索体宜采用半平行钢丝束索、高钒索和密闭索等。半平行钢丝束索用钢丝的质量及性能应符合现行国家标准《桥梁缆索用热镀锌或锌铝合金钢丝》GB/T 17101 的规定，锌铝合金镀层钢绞线拉索用钢丝的质量及性能应符合现行行业标准《建筑工程用锌-5%铝-混合稀土合金镀层钢丝》YB/T 4541 的规定，密封索用钢丝的质量及性能应符合现行行业标准《密封钢丝绳》YB/T 5295 的规定。

**20.1.3** 成品拉索索体表面应整洁，钢丝排列整齐，无错位，不应有松散、划伤、锈蚀、硬弯等缺陷，锚具表面不得有白点、裂纹和气孔等缺陷，螺纹能自由旋合。

**20.1.4** 锚具材料可采用铸件或锻件。采用铸件材料时，其化学成分及力学性能应符合国家现行标准《一般工程与结构用低合金钢铸件》GB/T 14408、《大型低合金钢铸件 技术条件》JB/T 6402 的规定；采用锻件材料时，其化学成分及力学性能应符合现行国家标准《大型碳素结构钢锻件 技术条件》GB/T 33083、《大型合金结构钢锻件 技术条件》GB/T 33084 的规定。

**20.1.5** 索夹材料宜采用铸钢件，材料性能应符合国家现行标准《大型低合金钢铸件 技术条件》JB/T 6402、《一般工程用铸造碳钢件》GB/T 11352 的规定。

**20.1.6** 聚乙烯护套料的质量及性能应符合现行行业标准《桥梁缆索用高密度聚乙烯护套料》CJ/T 297 的规定。

**20.1.7** 编织吊索的技术条件应符合现行行业标准《编织吊索 安全性 第1部分：一般用途合成纤维扁平吊装带》JB/T 8521.1 的规定。

**20.1.8** 钢丝绳用钢丝的质量及性能应符合现行行业标准《制绳用圆钢丝》YB/T 5343 的规定。

**20.1.9** 不锈钢钢丝绳用钢丝的质量及性能应符合现行行业标准《不锈钢钢丝绳用钢丝》YB/T 4470 的规定。

**20.1.10** 索夹用连接高强度螺栓，应符合国家现行标准《钢结构用高强度大六角头螺栓》GB/T 1228 和《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82 的规定。

### 20.2 主要机具

**20.2.1** 钢索制作工具应配备砂轮切割机、卷尺等。

**20.2.2** 吊装工具应配备卷扬机、吊索、手拉葫芦等。

**20.2.3** 张拉设备应配备液压千斤顶、压力表或压力传感器、钢绞线、热轧带肋钢筋或钢拉杆等。

## 20.3 作业条件

- 20.3.1** 户外作业时，宜在风力不大于 4 级的情况下进行钢索安装。
- 20.3.2** 安装过程中应注意风速和风向，应采取安全防护措施避免钢索发生过大摆动。
- 20.3.3** 施工前应编制专项施工方案，并应按照规定进行专家论证通过后方可实施，施工过程中应严格执行。
- 20.3.4** 施工前应编制施工监测专项方案，并按照规定进行审批后方可实施。
- 20.3.5** 索结构施工所用设备与仪表应在有效的计量标定期内。
- 20.3.6** 施工前，应按设计提供的支撑结构零态对支撑结构进行验收，验收合格后方可进行索结构施工。设计应提供支撑结构和索结构的变形值，作为施工监测和质量控制的依据。
- 20.3.7** 施工前应对支撑结构或边缘构件上钢索耳的空间坐标，几何尺寸及倾角等进行检查验收，验收合格后可进行索结构施工。
- 20.3.8** 施工单位应进行施工全过程模拟计算，计算时应考虑钢索张拉过程对支撑结构的影响，应根据钢索预应力损失情况确定适当的预应力超张拉值。
- 20.3.9** 有雷电时，应停止作业。

## 20.4 施工工艺

- 20.4.1** 钢索结构工程施工应按图 20.4.1 规定的流程进行操作。

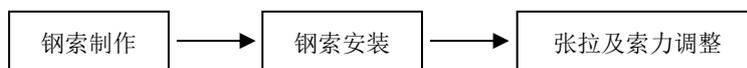


图 20.4.1 钢索结构施工工艺流程

- 20.4.2** 索体下料前，应进行预张拉。预张拉力为索体最小破断拉力的 55%，持荷时间不小于 1h，预张拉次数不小于 2 次
- 20.4.3** 钢丝束、钢丝绳索体应根据设计要求对索体进行测长、标记和下料。应根据应力状态下的索长，进行应力状态标记下料或经弹性模量换算进行无应力状态标记下料。应采用砂轮切割机进行下料，长度应准确，并应在每束刚锁上标明所属索号和长度。
- 20.4.4** 钢丝束、钢绞线下料时，应考虑环境温度对索长的影响，采取相应的补偿措施。
- 20.4.5** 钢丝束、钢绞线进行无应力状态下料时，应考虑其自重挠度等因素的影响，宜取  $200\text{N}/\text{mm}^2 \sim 300\text{N}/\text{mm}^2$  的张拉应力。
- 20.4.6** 成品拉索交货长度为设计长度，其允许偏差应符合表 20.4.6 的规定。玻璃幕墙用拉索交货长度的允许偏差应符合现行国家标准《建筑幕墙》GB/T 21086 的规定。

表 20.4.6 钢索长度允许偏差

序号	钢索长度 L(m)	允许偏差(mm)
----	-----------	----------

1	$\leq 50$	$\pm 15$
2	$50 < L \leq 100$	$\pm 20$
3	$\geq 100$	$\pm L/5000$

**20.4.7** 钢拉杆应按现行国家标准《钢拉杆》GB/T 20934 规定进行制作。成品钢拉杆交货长度为设计长度，钢拉杆成品长度允许偏差应符合表 20.4.7 的规定。

表 20.4.7 钢拉杆长度允许偏差

序号	钢拉杆长度 L(m)	允许偏差(mm)
1	$\leq 5$	$\pm 5$
2	$5 < L \leq 10$	$\pm 10$
3	$\geq 10$	$\pm 15$

**20.4.8** 钢索的安装工艺应满足整体结构对索的安装顺序和初始索力的要求，并计算出每根钢索的索力。

**20.4.9** 施工前应对钢丝、索体、锚具及零配件的出厂报告、产品质量保证书、检测报告以及品种、规格、色泽、数量进行验收。对钢索或其他组装件的所有部位均应检查，损坏的索体应更换，受损的非承部件应进行修补。

**20.4.10** 安装顺序应根据设计提供的初始预应力通过施工过程仿真分析确定。张拉时，其作用点形心应经过钢索轴线，可直接用千斤顶与校验的配套压力表监控钢索张拉力，必要时可用其他测力装置同步监控钢索的张拉力；各种屋面构件宜对称安装。

**20.4.11** 安装过程中应采取有效保护措施：放索时，钢索应放在索盘支架上；现场堆放钢索时应采取可靠的保护措施；安装时，应在相应工作面设置安全网，作业人员应系安全带，应防止雨水进行索体及锚具内部。

**20.4.12** 钢索上有索夹时，高强螺栓群应遵循从中心向四周扩散对称进行坚固的原则，应不小于索夹抗滑移试验得到的拧紧力矩值。

**20.4.13** 钢索宜采用整体同步张拉的原则，可遵循分阶段、分级、对称同步加载的原则。

**20.4.14** 提升和张拉工装应进行有限元分析，承载力不应小于最大张拉力的 1.2 倍。提升钢绞线束的最小破断力不应小于最大提升力的 2 倍。

**20.4.15** 当钢索锚头就位时可采用两侧设置手拉葫芦校正索头姿态。

**20.4.16** 当钢索采用卷扬机进行张拉前牵引，卷扬机应设置制动器，现场安装时应单独设置地锚并做好防止机座滑移的措施，导向滑轮不得使用开口滑轮。钢丝绳的直径应根据卷扬机的额定功率和工作级别计算选用。

**20.4.17** 钢索张拉用工装索应采用钢绞线、热轧带肋钢筋或钢拉杆。

**20.4.18** 应根据结构索的张拉力选择液压千斤顶的规格。单点的总额定张拉能力不应小于张拉力的 1.25 倍。

**20.4.19** 张拉工装系统应预留出安装销轴或螺母的空间位置。

**20.4.20** 张拉液压系统应符合下列规定：

- 1 张拉液压系统宜采用柔性钢绞线承重，由液压千斤顶以下、液压泵站及传感器组成；
- 2 张拉千斤顶宜采用穿心式液压油缸，内置工装索承载，由主油缸及与工装索配套的前、后锚具三部分组成；
- 3 液压系统应配有标定过的压力表或压力传感器；
- 4 对于一台液压泵站同时控制多个穿心式液压油缸，每个液压油缸宜单独有调速或关闭功能，且操作位置宜靠近液压油缸。

**20.4.21** 当采用计算机控制液压同步张拉系统时，应符合规定：

- 1 计算机控制液压张拉系统是自动同步张拉闭环控制系统，主要由液压千斤顶、液压泵站、传感器及计算机控制系统组成；
- 2 液压泵站宜采用比例压力阀液压系统，实现多点同步调压；
- 3 计算机控制系统宜采用网络实现信号互连，根据索力控制要求选择传感器种类和精度，应实时测量各张拉器的位移和载荷信息，通过液压比例系统实现位置同步或载荷同步或位移载荷复合控制。

**20.4.22** 钢索张拉前应对结构和周围环境进行检查，检查结构安装完成的构件上、支撑胎架的位置、胎架与结构的连接形式、支座的固定形式等应与施工全过程模拟计算的模型相一致。

**20.4.23** 钢索张拉时施工单位应通知监理工程师进行旁站，并做好详细的张拉记录。张拉记录应包括记录人、旁站人、日期、环境温度、张拉力值和结构变形值。

**20.4.24** 对于构件连接用索或装饰用索，可不对索力进行控制，目测绷直即可。

## 20.5 质量标准

**20.5.1** 应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 中有关质量要求。

**20.5.2** 索结构应作为一个子分部工程进行验收，验收标准应符合现行地方标准《索结构工程施工质量验收标准》DB11/T 1887 的规定。

## 20.6 成品保护

**20.6.1** 钢索出厂前宜采用三层包装，第一层采用塑料布包装，第二层采用无纺布包装，第三层采用纺织布包装，锚具用吊带固定于索体上。

**20.6.2** 钢索宜采用盘圈包装，钢丝束、高钒索盘绕内径不小于 20 倍索体直径，密封索盘绕内不小于 30 倍索体直径，最大外形满足运输要求。

**20.6.3** 钢索现场露天存放时，应采用木板垫起，并有防潮防雨雪措施。成圈产品只能水平堆放贮存，重叠堆放时逐层间应加木板，堆放时应注意锚具不可压伤钢索护层，堆放层数不超过三层。

**20.6.4** 施工完成后应采取保护措施，防止钢索被损坏。在钢索的周边不得进行焊接，切割等作业。

## **20.7 注意事项**

**20.7.1** 索结构施工前，应严格按类别对施工临时通道与安全防护设施进行检查、验收，合格后方可进行作业。

**20.7.2** 在高空平台上或穿过支架放索时，应保证钢索安装位置的畅通，以及平台与支架的稳定与安全。

**20.7.3** 钢索安装与张拉时，高空作业使用的小型手持工具和小型零部件应采取防止坠落措施。

**20.7.4** 钢索在安装过程中应采取有效防护措施防止索体及相关结构和构件损坏。

**20.7.5** 钢索施工完成后应采取保护措施，防止钢索被损坏。钢索的周边不得进行焊接、切割等作业。当除钢索外其它金属材料需要焊接和切割时，其施工点应与钢索保持一定距离或采取石棉、防火毯等保护措施。

## 21 膜结构制作与安装

### 21.1 材料要求

**21.1.1** 膜材应根据建筑功能、膜结构所处环境和使用年限、膜结构承受的荷载以及建筑物防火要求选用不同类别的膜材。

**21.1.2** 膜材的防火性能应按照现行国家标准《建筑材料和制品燃烧性能分级》GB 8624 的规定进行测试并确定膜材的防火等级。

**21.1.3** 为避免同一膜单元中透光率出现明显差异的情况，可用透光分析仪对膜材进行透光率分析。

**21.1.4** 根据膜结构工程的具体需求，可以对膜材进行吸声率检测。

**21.1.5** 膜结构用钢索和拉杆的力学性能的检测应按照国家现行标准《金属材料拉伸试验方法》GB/T 228.1、《钢拉杆》GB/T 20934 和现行行业标准《不锈钢拉索》YB/T 4294、《索结构技术规程》JGJ 257 的规定执行。

**21.1.6** 膜面与钢结构连接部件应采用不锈钢、铝合金或镀锌钢材，其材料质量的检测应符合国家现行标准的规定。

**21.1.7** 膜结构连接所用铝合金型材应采用阳极氧化、电泳涂漆、粉末喷涂或氟碳漆喷涂进行表面处理，并应符合设计文件和现行国家标准《铝合金建筑型材》GB/T 5237 对应分册的有关规定。铝合金型材的表面应光滑、无毛刺、无油污等缺陷。

**21.1.8** 膜结构连接用紧固件的材质、品质、规格、性能等应符合设计文件和现行国家标准的《紧固件机械性能》GB/T 3098 的规定。

**21.1.9** 膜结构所用胶结材料和密封材料的质量与检测应符合国家现行标准。

### 21.2 主要机具

**21.2.1** 应配备专业裁剪设备、专业热合设备、便携式膜材热合设备、专业充气系统、千斤顶、吊车、倒链、滑轮组、卷扬机、叉车、胎架、高空车、倒链、张紧器、缆绳等加工安装设备和工具。

**21.2.2** 应配备经纬仪、水准仪、全站仪、钢尺等现场测量工具。

**21.2.3** 应配备专业膜材检验设备、钢索测力计、膜应力测试仪、专业双轴拉力试验设备等检测设备。

### 21.3 作业条件

**21.3.1** 应完成膜结构施工图和膜裁剪图，并由设计负责人向制作和安装部门进行技术交底。

**21.3.2** 应完成膜材及其他材料的进厂检查、检测和复验。检查和复验应符合下列规定：

1 膜材进厂应进行开箱检查，开箱资料应包括厂家提供的膜材类别、厚度、重量、幅宽、力学性能参数等，G类膜材还应包括丝径参数。每批膜材均应具有产品质量书和检测报告，并应进行进货抽检；

2 膜材进厂检验时，应采用专用的膜材检验设备对膜材的外观进行检验，同一批次膜材料之间应无明显色差，表面应光滑平整。膜材不得有通透孔眼、局部无涂层、基材裸露、明显且无法消除的污渍等严重缺陷。每卷(以50m计)的局部涂层较薄、麻点、油丝等轻微缺陷不超过5处，且每处缺陷面积小于100mm<sup>2</sup>；

3 膜材的厚度应采用测厚仪进行检验，按生产批次抽检，每批次不应少于10个检测点，厚度的偏差应小于标准值的±10%；

4 膜材的幅宽宜用钢卷尺进行测量，每个检验批抽查3个部位，要求幅宽不存在负偏差；

5 应使用秤称量每卷膜材的重量，单位面积重量的偏差值应小于标准值的±10%；

6 G类、P类膜材经向和纬向的极限抗拉强度、抗撕裂强度，E类膜材的第一、第二屈服强度以及极限抗拉强度，应进行抽样复检，每卷抽检不少于3个部位，复验结果应满足设计要求。

**21.3.3** 制作负责人应根据设计要求制定出具体的加工方案、工艺流程、工艺要求，并安排好生产进度。

**21.3.4** 施工负责人应依据工程特点及设计要求编制施工方案，完成施工组织设计，进行可行性论证，依据规定进行评审。应根据工程要求做好施工进度安排。

**21.3.5** 加工制作前，车间应检查和调试好各个待用设备，并按需求准备好加工场地，清扫干净。

**21.3.6** 加工前，热合车间应使用工程所用膜材，调试设备各参数，进行模拟工艺，调试出最佳热合效果并进行记录，填写热合数据试验报告，作为热合生产的依据。

**21.3.7** 应安排经过培训合格的质检人员在制作过程和安装过程中上岗开展质检工作。

**21.3.8** 所有生产工人应进行岗位培训，培训合格者颁发岗位证书，方可上岗工作。

## 21.4 施工工艺

**21.4.1** 膜结构的制作和安装应按图21.4.1规定的工艺流程进行操作。

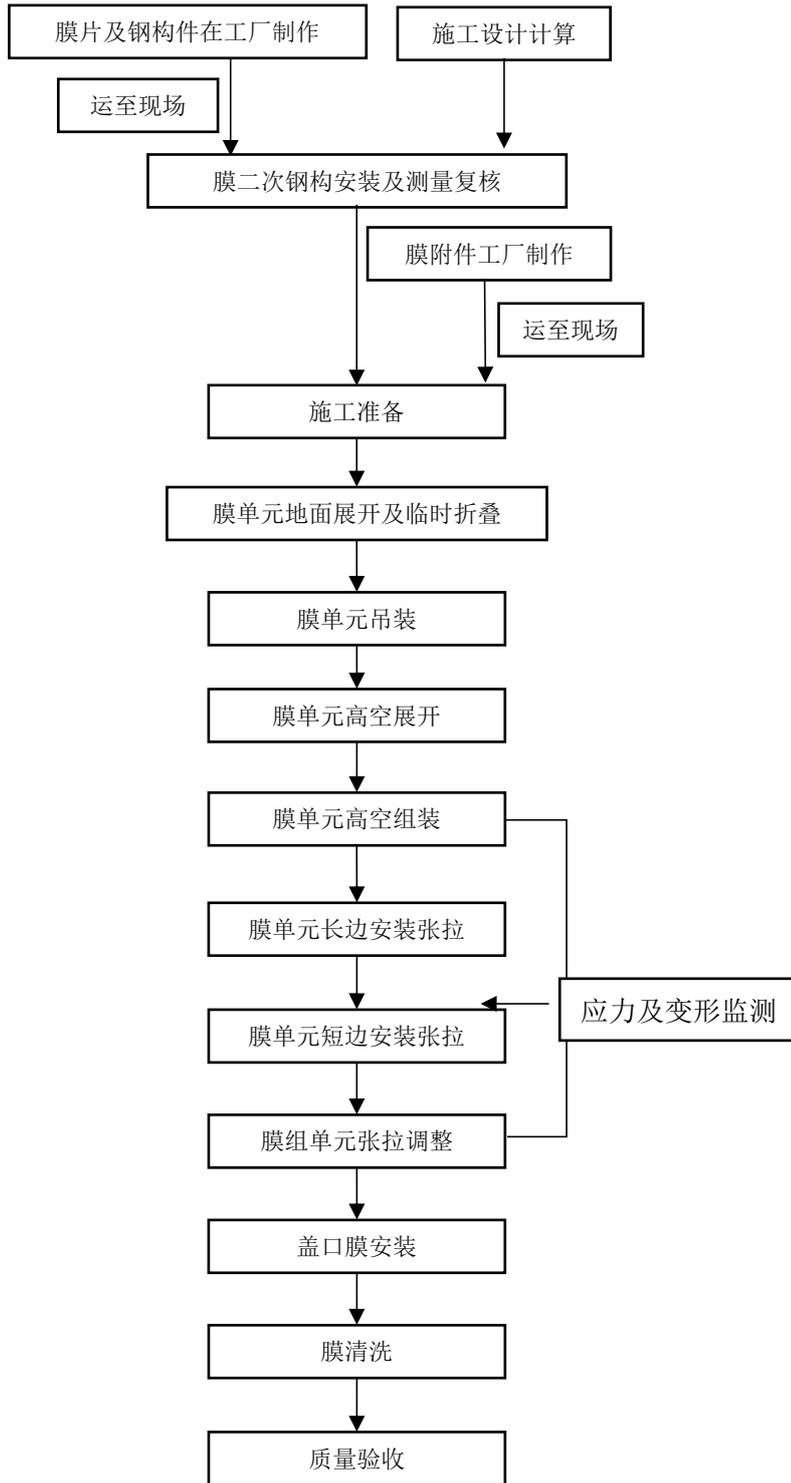


图 21.4.1 膜结构制作安装工艺流程

#### 21.4.2 膜结构的制作过程和工艺应符合以下规定：

1 膜结构的制作应在专业化的工厂进行，应具备洁净、干燥的非露天环境条件，应具备膜的制作专用设备和专用车间。加工场地应平整、洁净、无浮尘；

- 2 膜材加工环境应满足一定的温度和湿度要求。同时，应避免热源对膜材的热辐射影响；
- 3 同一膜结构工程宜使用同一企业、同一批号的膜材；
- 4 膜的裁剪应严格按照设计裁剪图在专用的工作平台上使用专用的裁剪设备进行裁剪；
- 5 膜的热合应使用专用的热合设备。热合制作前，应根据膜材的特点，对连接方式、搭接或对接宽度等进行试验，G类、P类膜材热合处的拉伸强度不低于母材强度的80%，E类膜材热合处的拉伸强度不低于30MPa。符合要求后方可正式进行热合加工。在热合过程中应严格按照试验参数进行作业，并做好热合加工记录；
- 6 热合时应根据工艺要求严格控制热合温度、热合压力和热合时间，避免过热烫伤，并严格控制热合中产生的收缩变形；
- 7 热合时应根据两片膜片情况施加拉力，膜片平整不得有折皱，有效控制热收缩。保持热合带内、外面清洁，如焊缝间夹胶片，胶片同样需要清洁，不得有灰尘，应避免静电吸附杂物；
- 8 热合面的两片材料必须同时热融、焊透。热合缝应100%检验，不得有虚焊、漏焊，应保证有足够的强度和良好的水密性。热合缝应均匀平整、饱满、线条清晰，热合后膜面不得有污渍、划伤、破损现象；
- 9 对于G类、P类膜材，热合缝宽度的误差值不应超过5%，对于E类膜材，热合缝宽度的误差值不应超过 $\pm 1\text{mm}$ ；
- 10 当热合膜材需要打磨表面时，打磨不应对膜材产生损伤；
- 11 膜片裁剪后应全部进行检验，10m以下膜片各向尺寸偏差应控制在 $\pm 3\text{mm}$ 之内，10m以上膜片各向尺寸偏差应控制在 $\pm 6\text{mm}$ 之内，热合后的膜单元，周边尺寸与设计尺寸的偏差不应大于1%；
- 12 经加工制作并检验合格的膜单元，应先行清洁，标识后存放；
- 13 膜结构中钢构件的制作应符合现行国家标准《钢结构施工质量验收规范》GB 50205的规定。拉索的加工制作应符合现行行业标准《索结构技术规程》JGJ 257的规定；
- 14 膜结构中连接件应严格按照加工图纸制作，其质量应满足现行国家标准或行业标准。

#### 21.4.3 成品膜的包装和运输应符合以下规定：

- 1 膜单元加工完成后，应根据膜材特性及工程特点确定包装方式。膜单元打包时，宜包上缓冲材料，以防止对膜材造成折弯、压坏等损坏。包装袋应结实、平滑、清洁，其内表面应无色或不褪色，与膜成品之间不得有异物，且应严密封口；
- 2 每个成品膜包装件上的醒目位置至少有两处稳固的、字迹清晰牢固的标识，标明膜单元的编号、包装方式和展开方向；
- 3 成品膜的包装和运输应考虑安装次序；

4 包装时，P类膜材可采用折叠方式，G类膜材宜采用卷装方式，为方便膜单元现场安装，折叠或卷装的顺序宜与施工时的展开方向相反；

5 成品膜运输应编制装卸运输方案，方案应明确装车方法、车中码放方案及固定手段、运输过程中的防护措施以及卸车方法等；

6 成品膜在运输中应采取措施确保膜单元与交通工具间不发生相对移动或碰撞。运输过程中不得出现膜体的挤压、弯折、破损；

7 G类膜材宜采用膜专用搁置及运输架台（图 21.4.3）进行搁置、运输和吊装。成品膜应按安装要求的顺序逐一卷绕在足够长度的钢卷轴上进行包装，不应存在折叠死角。每一包装件可根据成品膜的大小、运输道路和运输车辆的能力、吊装方案和起重机能力确定钢管轴的长度和直径。

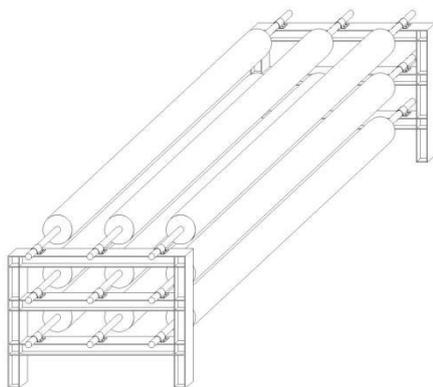


图 21.4.3 膜专用搁置及运输架台

#### 21.4.4 膜结构安装准备工作应满足以下规定：

1 施工负责人应根据施工方案细化安装步骤，向现场安装人员、外协单位做详细说明并明确布置任务；

2 应根据土建施工图和索膜结构安装要求对支撑结构工作点坐标进行测量验收，支撑结构预埋件位置的允许偏差为 $\pm 5\text{mm}$ ，同一支座地脚螺丝相对位置的允许偏差为 $\pm 2\text{mm}$ ；

3 检查预埋件、地脚螺丝、螺母有无缺损。对地脚螺栓、螺母应进行防锈及防碰撞保护；

4 若建设单位负责提供膜结构体系中的钢结构部分，应对钢结构进行测量和验收，质量验收应符合现行国家标准《钢结构工程质量验收标准》GB 50205 的规定。对建设单位提供的膜结构支承结构等已完成工程部分，应采取防护措施；

5 应查验确认施工安装使用的工程材料、机具设备到场齐全，状态良好；

6 应检查施工场地和施工道路条件，必要时进行处置，使其符合安装工作的要求；

7 应做好安全准备工作，落实安全措施。施工现场应严禁无关人员进入，并做好对其他建筑物的防护措施。

#### 21.4.5 膜结构中的钢构件与钢索的安装应符合以下规定：

1 钢构件和钢索的安装应满足以下前提条件：拉索及其配件验收合格，现场具备安装条件，完成施工组织设计并通过审批；

2 膜结构中的钢构件安装应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的有关规定；

3 索膜结构的钢索安装应按现行行业标准《索结构技术规程》JGJ 257 的规定执行；

4 索系支承式膜结构的拉索安装，应进行施工过程模拟验算和施工监测；

5 对于索系支承式膜结构，张拉拉索前应确定索力控制或结构位移控制的原则。对于大型复杂膜结构应进行索力和结构位移双控。张拉力偏差不宜大于设计值的 10%，结构位移的偏差应按设计要求确定；

6 拉索安装前应对拉索耳板的方向、尺寸、销孔等进行检查，确保耳板与拉索锚具匹配；

7 大直径较长钢索展开时，应采用放索盘缓慢释放，尽量将钢索的扭绞力全部释放；

8 钢构件、钢索及配件在安装前应按施工图进行认真检验，不合格品应在安装前整改，合格后方可安装；

9 钢索与钢结构连接时，钢索的编号及连接位置应反复核对，确保与施工图一致；

10 应按照施工安装方案搭设安全稳固的高空作业工作平台，依序吊装钢构件和钢索并按施工图连接就位；

11 钢构件与钢索吊装前，应严格检查连接部位的各项尺寸是否符合设计要求，如误差不能满足要求，应在地面修正后方可吊装；

12 应依照施工安装方案确定钢构件是在地面局部组装后吊装还是单件吊装后组装，确定吊装方案的原则是保证质量、安全可靠、快捷经济；

13 与膜接触的钢板、钢管、连接板等钢构件，应保持顺直平滑，不得有错位。

#### 21.4.6 膜单元的安装应符合以下规定：

1 所有参加工程施工人员应了解每一膜片单元节点的连接形式，并在进场施工前都必须经过专业操作培训和专业安全教育；

2 膜单元安装宜在相关土建和外装饰工程完工后进行，对安装现场可能伤及膜材的物件应进行安全防护；

3 膜单元安装前应确保基础与预埋件、钢结构与钢索达到设计要求并满足验收标准，应确保运输及吊装路线畅通，应准备好膜单元地面展开的场地，还应落实膜单元安装是否与其他施工单位交叉，是否有其他不安全因素等；

4 安装前宜对支承结构及钢构件进行复测，以确认满足膜安装要求；

- 5 安装单位应按设计单位提供的膜单元总装图和分装图进行安装；
- 6 在现场打开包装前，应先检查膜单元的包装在运输过程中有无损坏。打开包装后，膜单元成品应经安装单位验收合格；
- 7 膜单元如在地面展开，场地应有足够的面积，以保证膜单元不在地面上拖拽或翻滚，并须保持场地清洁、平整，否则应在高空展开。无论在地面展开还是在高空展开，膜单元上面均不应上人操作，必须上人时，须检查确认膜单元下面无尖锐物并换穿软底清洁的工作鞋。上人作业时须有具体的安全措施；
- 8 膜单元展开现场应进行围护，避免无关人员进入；
- 9 安装前应将所有需要摆放膜单元的场地和高空平台清洁干净，并铺设洁净的地面保护膜；
- 10 膜安装前需检查所有与膜面相关的连接点是否有飞溅、毛刺等现象，并确保无锋利刺口；
- 11 安装前应检查确保膜单元的热合缝无裂缝、无剥离剥落；
- 12 膜单元吊装前应准备好连接附件以及吊装、提升所用的工具、机具等设备；
- 13 吊装膜单元前，应先确定膜单元的准确安装位置。膜单元展开时，应采取必要的措施防止膜材受到污染或损伤。展开和吊装膜单元时可使用临时夹板，但安装过程中应避免膜单元与临时夹板连接处产生撕裂；
- 14 当风力达到四级或气温低于4℃时，不宜进行膜单元安装；当风力达到五级及以上时，严禁进行膜单元安装；
- 15 膜单元和钢索的编号及连接位置应反复核对，确保与施工图一致；
- 16 单元与钢索采用U形卡方式连接时，必须使用正确的附件，U形卡应尽量垂直于钢索，偏离角度不得大于5°；膜单元与钢索采用膜边套连接方式时，钢索从膜边套穿出后，两边露出的长度应符合施工图的要求；
- 17 钢索直接与膜面接触时，应将接触面清理干净，以免施加预张力时破坏膜面；
- 18 膜单元与钢结构的连接边界采用可调方式时，并应将螺栓调整至设计位置；
- 19 在地面安装膜附件时，应铺设地面保护膜。在保护膜上按安装方向展开成品膜单元，连接好需要在地面上安装的所有附件；
- 20 若安装方案确定需要在膜单元高空展开后安装附件，按照安装方案执行；
- 21 膜单元宜连续安装就位。当不能连续安装就位时，应采取可靠的临时固定措施；
- 22 现场热合的防水膜应无漏水、渗水现象，表面应平整美观；
- 23 膜结构安装完毕后，应对膜体内、外表面进行清洁；

24 空气支承膜结构充气前，应检查膜单元安装固定情况，确保所有边界及连接节点满足设计要求，并应对充气设备及相关配套设施进行安装调试，合格后方可进行充气。充气过程中应对膜体形态及膜体内气压进行持续监测，直至达到设计要求。

**21.4.7 结构体系及膜单元施加预张力应符合以下规定：**

- 1 严格检查千斤顶、液压泵、测力装置、仪表和施力机构是否完好；
- 2 对于通过集中施力点施加预张力的膜结构，在施加预张力前应将支座连接板和所有可调部件调节到位；
- 3 认真核对施工图，仔细确认施力点的位移量和预应力状态下的受力值。施力位置、位移量、施力值应符合设计要求；
- 4 施加预张力应采用专用施力机具。每一施力位置使用的施力机具，其施力标定值不宜小于设计施力值的 2 倍；
- 5 按施工安装方案，用千斤顶等施力工具和测力装置，在施力点对整体结构体系施加预张力。施力过程按施工方案确定的步数和每步的位移量进行，同时在膜单元上适当位置观察膜的均匀张紧程度和整体结构体系的受力情况，观察施力设备的施力值；
- 6 施力机具和仪表均应在有效的计量标定期内。测力仪表的测力误差不得大于 5%；
- 7 为保证预张力的逐步均匀传递和消除膜材料的徐变，对膜施加预张力应分步进行，各步的间隔时间宜大于 24h；
- 8 对膜施加预张力时应以施力点位移达到设计值为控制标准，允许误差为± 10%。对有代表性的施力点还应进行力值抽检，允许误差为± 10%；
- 9 在膜单元边界直接张紧膜面的方法施加预张力，应尽量做到膜单元周围的施力水平均匀一致；
- 10 施加预张力的过程，应对各施力点的施力次数，以及每次施力的位移量和力值做详细的工作纪录；
- 11 选用 PVC 膜材料的膜结构，应在完工 1 年~2 年进行二次张拉来补强预张力。

## 21.5 质量标准

**21.5.1** 膜结构的钢构件的质量标准应符合现行国家标准《钢结构工程质量验收标准》GB 50205。

**21.5.2** 膜结构的钢索的质量标准应符合现行行业标准《索结构技术规程》JGJ 257。

## 21.6 成品保护

**21.6.1** 膜单元成品的保护应贯穿到运输、起吊、展开和安装的全过程。

**21.6.2** 膜单元的运输工具上应铺设支承垫层，并采取措​​施确保膜单元与交通工具间不发生相对移动或撞击。

- 21.6.3 膜片打开后,应检查孔位是否正确,膜面有无伤痕和污染。
- 21.6.4 膜片起吊时,必须保证安全.注意收听天气预报,风力大于4级时不能作业,膜片起吊时有专人指挥,防止膜面受力不均而撕裂。
- 21.6.5 应安排每一膜单元的起吊时间,每展开一个膜单元,当天应将膜单元周边进行临时拉结,确保膜单元过夜安全。
- 21.6.6 膜单元展开过程中,应在膜面上布置防风绳网。
- 21.6.7 膜结构安装过程中,对已完成的工序或已完成的工程部分应采取防护措施,对已完成周边连接尚未施加预张力的膜单元,应采取切实有效的防风、防积水等保护措施。
- 21.6.8 安装膜片时,安装工具不得随意抛掷,以防损坏膜面。
- 21.6.9 安装人员在膜面行走时,严禁穿皮鞋,必须穿软底工作鞋,并保证鞋底无污染物。
- 21.6.10 对已安装完成的膜单元,应定期检查,防止因风振引起螺栓松动,直至工程竣工。

## 21.7 注意事项

- 21.7.1 工程开工前由专门的技术人员对项目施工人员进行技术交底,明确每道工序质量要求和质量标准,以及可能发生的质量事故的预防措施。
- 21.7.2 周边螺栓固定结束后,应逐一进行检查,保证做到螺栓无缺少,无漏拧。
- 21.7.3 安装膜夹具时,必须用力均匀,避免死拉硬拽,确保膜边不受破坏。
- 21.7.4 不宜使用活络扳手拧紧膜边界螺栓。
- 21.7.5 高空操作人员应符合超高空施工体质要求,严禁酒后施工。
- 21.7.6 现场安全设施必须由专职人员搭设,其它任何人员不得随意拆除和松动,每天施工前应对安全设施进行检查和维修。
- 21.7.7 施工现场搭设的膜安装平台,登高脚手架及安全防护栏杆应保证安全,牢靠,无事故隐患。
- 21.7.8 小工具必须放在工具袋内,所有散件必须收集在容器内并不超过平口,严禁散落,不准双手拿物体上下走动,不准使用有缺陷的工具。
- 21.7.9 高空作业时,严禁向下抛掷物体。高空使用的工具应用绳索和安全带或工具袋拴牢以防止失落。

## 22 钢结构防腐涂装

### 22.1 材料要求

**22.1.1** 建筑钢结构工程防腐蚀材料品种、规格、颜色应符合国家有关技术指标和设计要求，应具有产品出厂合格证。

**22.1.2** 建筑钢结构防腐蚀材料用底漆、中间漆、面漆、稀释剂和固化剂等产品应满足现行国家标准《工业防护涂料中有害物质限量》GB 30981 的规定。

### 22.2 主要机具

**22.2.1** 基材进行处理宜配备抛丸机、喷砂机、气泵、角磨机、铲刀、钢丝刷等工具。

**22.2.2** 涂装施工宜配备无气喷涂机、空气喷枪、辊筒、刷子等工具。

### 22.3 作业条件

**22.3.1** 应完成图纸会审工作，具有图纸会审纪录。

**22.3.2** 应根据设计文件要求，编制施工方案、技术交底等技术文件。

**22.3.3** 应根据工程特点及施工进度，进行技术交底。

**22.3.4** 油漆工施工作业应持有特殊工种作业操作证。

**22.3.5** 防腐涂装工程前，钢结构工程应检查验收，并符合设计要求。

**22.3.6** 露天防腐施工作业应选择适当的天气，不应在大风、遇雨、雾、湿度大于 80%、严寒等天气作业。

### 22.4 施工工艺

**22.4.1** 钢结构防腐涂装应按图 22.4.1 钢结构防腐涂装工艺流程进行。

**22.4.2** 钢结构防腐涂装基材处理应符合下列规定：

1 建筑钢结构工程的油漆涂装应在钢结构制作安装验收合格后进行；

2 油漆涂刷前，应采取适当的方法将需要涂装部位的铁锈、焊缝药皮、焊接飞溅物、油污、尘土等杂物清理干净；

3 基面除锈质量等级应符合设计文件的规定要求。钢结构除锈质量等级分类应符合现行国家标准《涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定第 1 部分：未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级》GB 8923.1 的规定；

4 根据不同需要可选用下列除锈工艺：

1) 油污可采用蒸汽清理、乳液清理、碱液清理、溶剂清洗或碱液清洗。清洗方法有槽内浸洗法、擦洗法、喷射清洗和蒸汽法等；

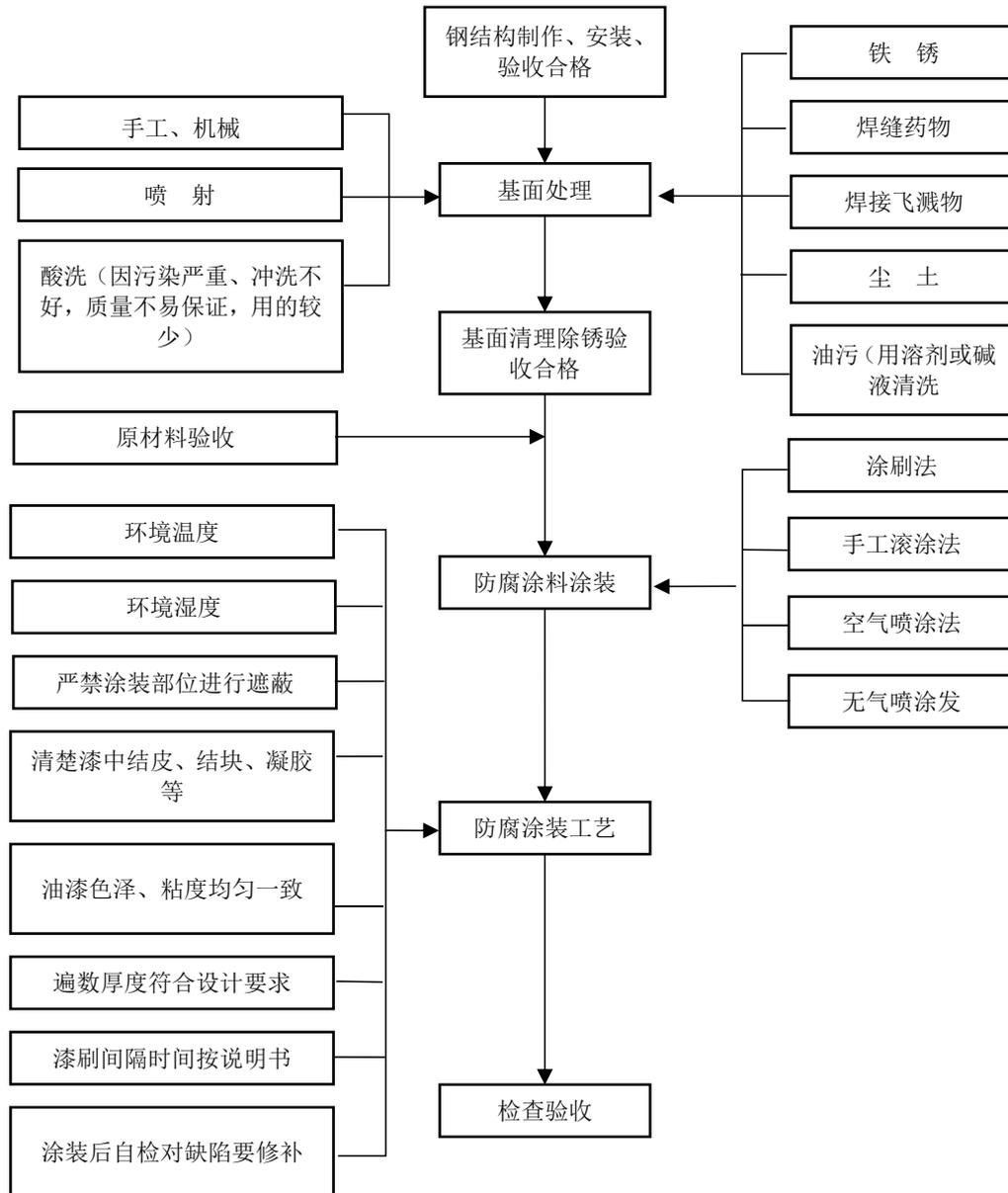


图 22.4.1 钢结构防腐涂装工艺流程

2) 钢构件表面除锈可采用手工除锈、机械除锈、动力工具除锈、喷射除锈、酸洗除锈等方法。

22.4.3 钢结构防腐涂装施工方法可选用刷涂法、手工滚涂法、空气喷涂法、无气喷涂法等。

22.4.4 钢结构防腐涂装施工应符合下列规定：

1 涂装施工环境条件应符合下列规定：

- 1) 环境温度应按照涂料产品说明书的规定执行；
- 2) 宜在相对湿度小于 80%的条件下进行。具体应按照新产品说明书的规定执行；
- 3) 应控制钢材表面温度与露点温度，钢材表面的温度应高于空气露点温度 3℃以上，环氧

涂料施工，钢板表面温度不低于 10℃方可进行喷涂施工。露点温度可根据空气温度和相对湿度按表 22.4.4 确定。在雨、雾、雪和较大灰尘的环境下，不得施工。

表 22.4.4 露点值查对表

环境温度 ℃	相 对 湿 度 (%)								
	55	60	65	70	75	80	85	90	95
0	-7.9	-6.8	-5.8	-4.8	-4.0	-3.0	-2.2	-1.4	-0.7
5	-3.3	-2.1	-1.0	0.0	0.9	1.8	2.7	3.4	4.3
10	1.4	2.6	3.7	4.8	5.8	6.7	7.6	8.4	9.3
15	6.1	7.4	8.6	9.7	10.7	11.5	12.5	13.4	14.2
20	10.7	12.0	13.2	14.4	15.4	16.4	17.4	22.3	19.2
25	15.6	16.9	22.2	19.3	20.4	21.3	22.3	23.3	24.1
30	19.9	21.4	22.7	23.9	25.1	26.2	27.2	28.2	29.1
35	24.8	26.3	27.5	28.7	29.9	31.1	32.1	33.1	34.1
40	29.1	30.7	32.2	33.5	34.7	35.9	37.0	38.0	38.9

2 设计要求或钢结构施工工艺要求不得涂装的部位，在涂装前应进行遮蔽保护。如地脚螺栓和底板、高强度螺栓结合面、与混凝土紧贴或埋入的部位等应进行遮蔽；

3 涂料开桶前，应充分摇匀。开桶后，原漆应不存在结皮、结块、凝胶等现象，有沉淀应能搅起，有漆皮应除掉；

4 涂装施工过程中，应控制油漆的粘度，稀释时应充分的搅拌，使油漆色泽、粘度均匀一致。调整粘度应使用配套稀释剂；

5 涂刷遍数及涂层厚度应执行设计要求规定；

6 涂装间隔时间应根据涂料产品说明书确定；

7 涂刷第一层底漆时，涂刷方向应该一致，接搓整齐；

8 钢结构安装后，应进行防腐涂料二次涂装。工厂完成底漆和中间漆施工，现场修补。涂装前，首先利用砂布、电动钢丝刷等工具将钢构件表面处理干净，然后对涂层损坏部位和未涂部位进行补涂；

9 涂装完成后，应经检查并记录。涂层有缺陷时，应分析并确定缺陷原因，并及时修补。修补的方法和要求应与正式涂层部分相同。

## 22.5 质量标准

**22.5.1** 涂料、涂装遍数和涂层厚度均应符合设计要求。当设计对涂层厚度无要求时，室外涂层干漆膜总厚度不应小于 150μm。室内涂层干漆膜总厚度不应小于 125μm，且允许偏差为 -25μm~0μm。每遍涂层干漆膜厚度的允许偏差为 -5μm~0μm。

**22.5.2** 涂层的附着力应满足设计要求。

**22.5.3** 涂层应均匀，无明显皱皮、流坠、针眼和气泡等。

**22.5.4** 构件表面不应误涂、漏涂，涂层不应脱皮和返锈等。

**22.5.5** 涂装完成后、构件的标志、标记和编号应清晰完整。

## **22.6 成品保护**

**22.6.1** 钢构件涂装后，应加以临时围护隔离，防止踏踩磕、碰，损伤涂层。

**22.6.2** 钢构件涂装后，在 4h 之内如遇大风或下雨时，应加以覆盖，防止沾染灰尘或水汽，避免影响涂层的附着力。

**22.6.3** 涂装后的钢构件需要运输时，应注意防止磕碰。

**22.6.4** 涂装后的钢构件应勿接触酸类液体，防止损伤涂层。

## **22.7 注意事项**

**22.7.1** 钢结构防腐涂装施工时应关注下列质量控制：

- 1 应注意钢材表面除锈处理质量控制；
- 2 应注意防腐涂料涂装质量控制。

**22.7.2** 涂装施工时应做好下列防火措施：

- 1 防腐涂料施工现场或车间不允许堆放易燃物品，并应远离易燃物品仓库；
- 2 防腐涂料施工现场或车间，不得烟火，并有明显的禁止烟火的宣传标志；
- 3 防腐涂料施工现场或车间，应备有消防水源或消防器材；
- 4 防腐涂料施工中使用擦过溶剂和涂料的棉纱、棉布等物品应存放带盖的铁桶内，并定期处理掉；
- 5 不得向下水道倾倒涂料和溶剂。

**22.7.3** 涂装施工时应做好下列防爆措施：

- 1 防腐涂料使用前需要加热时，采用热载体、电感加热等方法，并远离涂装施工现场；
- 2 防腐涂料涂装施工时，不得使用铁棒等金属物品敲击金属物体和漆桶，如需敲击应使用木制工具，防止因此产生摩擦或撞击火花；
- 3 在涂料仓库和涂装施工现场使用的照明灯应有防爆装置，临时电气设备应使用防爆型的，并定期检查电路及设备的绝缘情况。在使用溶剂的场所，应使用三项插头，不应使用闸刀开关；
- 4 所有使用的设备和电气导线应良好接地，防止静电聚集；
- 5 所有进入防腐涂料涂装施工现场的施工人員，应穿安全鞋、安全服装。

**22.7.4** 涂装施工时应做好下列防毒措施：

- 1 施工人员应戴防毒口罩或防毒面具；

2 对于接触性侵害，施工人员应穿工作服、戴手套和防护眼镜等，不应与溶剂接触；

3 施工现场应做好通风排气装置，减少有毒气体的浓度。

**22.7.5** 高空作业时，应戴好安全带，并应对使用的脚手架或吊架等临时设施进行检查，确认安全后，方可施工。

**22.7.6** 施工用工具，不使用时应放入工具袋内，不得随意乱扔乱放。

## 23 钢结构防火涂装

### 23.1 材料要求

**23.1.1** 建筑钢结构工程防火涂料的品种和技术性能应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016、《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249、《钢结构防火涂料》GB 14907 规定和工程设计要求。

**23.1.2** 所选用的防火涂料应具备与设计耐火极限对应的型式检验报告或型式试验报告，应具有产品出厂合格证。

### 23.2 主要机具

**23.2.1** 喷涂施工机具宜选用便携式搅拌机、压送式喷涂机、高压无气喷涂机、重力式喷枪、空气压缩机、

**23.2.2** 抹涂施工机具宜选用抹灰刀、刮板、靠尺等。

**23.2.3** 辊涂和刷涂宜选用滚筒和刷子、油漆桶等。

### 23.3 作业条件

**23.3.1** 应完成图纸会审工作，并有图纸会审记录。

**23.3.2** 应根据设计文件要求，编制防火涂料涂装施工方案、技术交底等技术文件。并根据技术文件现场制作样板，防火涂料与底漆匹配性较好，样板涂层质量验收合格后方可进场施工。

**23.3.3** 应根据工程特点及施工进度，进行技术交底。

**23.3.4** 防火涂料涂装施工作业应由经住建部门批准的施工单位负责施工。

**23.3.5** 防火涂料涂装工程前，钢结构工程应已检查验收合格，并符合设计要求。

**23.3.6** 涂装前，应按要求对钢结构表面进行除锈处理，应彻底清除钢构件表面的灰尘、铁锈、油污等杂物。

**23.3.7** 涂装前，应对钢构件碰损或漏涂部位补刷防锈漆，防锈漆涂装验收合格后方可进行施涂防火涂料。

**23.3.8** 防火涂料应按现行国家标准《色漆和清漆 涂料配套性和再涂性的测定》GB/T 34681 规定的方法进行防火涂料和防锈漆的配套性试验，防火涂料和防锈漆之间不能出现溶胀、咬底、起皱、变色等缺陷。

**23.3.9** 钢结构防火涂料涂装应在室内装饰之前和不被后续工程所损坏的条件下进行。施工前，对不需要进行防火保护的墙面、门窗、机械设备和其它构件应采用塑料布遮挡保护。

**23.3.10** 涂装施工时，环境温度应宜保持 5℃~35℃，相对湿度不大于 80%，空气应流动。露天涂装施工作业应选择适当的天气，大风、遇雨、严寒等均不应作业。

## 23.4 施工工艺

23.4.1 钢结构防火涂料应按照图 23.4.1 钢结构防火涂料涂装工艺流程操作。

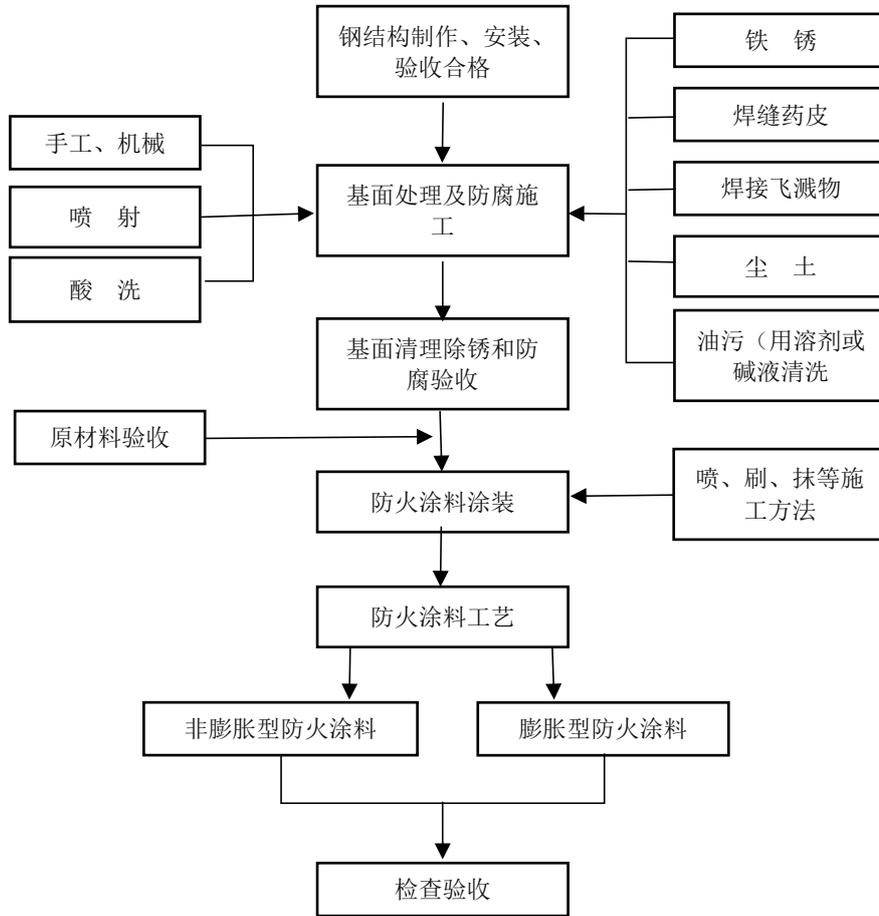


图 23.4.1 钢结构防火涂料涂装工艺流程

23.4.2 非膨胀型钢结构防火涂料涂装应按下列工艺及要求进行：

1 宜采用喷涂方法涂装，应配备能够自动调压的空气压缩机，喷枪口径宜为 6mm～12mm，空气压力宜为 0.4MPa～0.6MPa；局部修补和小面积构件可采用手工抹涂方法施工；

2 单组分湿涂料现场应采用便携式搅拌器搅拌均匀；单组分干粉涂料现场加水或其他稀释剂调配，应按产品说明书的规定配比混合搅拌；双组分涂料，应按照产品说明书的配比混合搅拌；

3 防火涂料配置搅拌应边配边用，当天配置的涂料应在说明书规定时间内使用完；

4 涂装施工应符合下列规定：

1) 喷涂应分若干层完成，第一层宜进行拉毛界面处理，拉毛层 2mm～3mm，间隔 24h 后进行下一道喷涂，以后每层喷涂厚度为 5mm～10mm，宜为 7mm 为宜；

2) 应在每层涂层基本干燥或固化后，方可继续喷涂下一层涂料，通常每天喷涂一层；

3) 喷涂保护方式、喷涂层数和涂层厚度应根据防火设计要求确定；

- 4) 喷涂时喷枪应垂直于被喷涂钢构件表面，喷距为 6mm~10mm，喷涂气压宜保持在 0.4MPa~0.6MPa；
- 5) 施工过程中应采用测厚仪检测涂层厚度，直到符合设计规定的厚度，方可停止喷涂；
- 6) 喷涂后，对于明显凹凸不平处，应采用抹灰刀等工具进行剔除和补涂处理。

#### 5 防火涂层质量应符合下列规定：

- 1) 涂层应在规定时间内干燥固化，各层间粘结牢固，不出现粉化、空鼓、脱落和明显裂纹；
- 2) 钢结构接头、转角处的涂层应均匀一致，无漏涂；
- 3) 涂层厚度应达到设计要求，否则，应进行补涂处理，使之符合规定的厚度；
- 4) 当涂层厚度不小于 25mm 时宜采用钢丝网或玻纤网进行加固处理。

#### 23.4.3 膨胀型钢结构防火涂料涂装应符合下列规定：

- 1 防火涂料和面漆可采用刷涂、滚涂或喷涂方法施工；
- 2 单组份的涂料应在施工现场充分搅拌均匀后使用，双组份的涂料应按产品说明书的规定在现场调配使用。涂料开封后宜在当日使用完毕；
- 3 施工时若涂料过稠，可加入约 5% 的专用稀释剂。首道涂层湿膜厚度不宜大于 0.30mm~1.0mm，前道涂层表干后方可施工后一道涂层，层间施工间隔不宜小于 24h；
- 4 喷涂时喷枪应始终垂直于被喷涂钢构件表面，运行速度保持稳定，喷距宜为 300mm~1000mm。施工过程中，应随时采用测针或测厚仪检测涂层厚度，确保各部位涂层达到设计要求；
- 5 当防火涂层厚度符合设计要求，并基本干燥后，方可进行面层涂料涂装。面层涂装施工应保证各部分颜色均匀一致，接茬平整。

## 23.5 质量标准

#### 23.5.1 防火涂层外观质量控制应符合下列规定：

- 1 、应有误涂、漏涂，涂层应闭合，不应有脱层、空鼓、明显凹陷、粉化松散和 浮浆等外观缺陷，乳突应剔除；
- 2 喷涂的非膨胀型防火涂料外观宜为毛面，当设计对涂层外观有平整度要求时，可在涂层表面采取相应的找平措施。

#### 23.5.2 防火涂层厚度控制应符合下列规定：

- 1 非膨胀型防火涂料涂层最薄处的厚度不得小于设计厚度的 85%；平均厚度允许 偏差应为设计厚度的  $\pm 10\%$ ，且不应大于  $\pm 2\text{mm}$ ；

2 非环氧类膨胀型防火涂料涂层最薄处的厚度不得小于设计厚度的 85%；平均厚度允许偏差应为设计厚度的 $\pm 10\%$ ，且不应大于 $\pm 0.2\text{mm}$ ；

3 环氧类膨胀型防火涂料涂层最薄处的厚度不得小于设计厚度的 85%；平均厚度允许偏差应为设计厚度的 $\pm 10\%$ ，且不应大于 $\pm 0.3\text{mm}$ 。

**23.5.3** 涂层裂纹数控制应符合下列规定：

1 防火涂料涂层不得出现贯穿性裂纹；

2 膨胀型防火涂料涂层裂纹宽度不应大于 0.5mm，且任意 1m 内不得多于 1 条；当涂层厚度小于或等于 3mm 时，涂层裂纹宽度不应大于 0.1mm；

3 非膨胀型防火涂料涂层裂纹宽度不应大于 0.5mm，在任意 300mm $\times$ 150mm 范围内裂纹数不得多于 3 条。

## 23.6 成品保护

**23.6.1** 钢构件涂装后，应防止磕碰，损伤涂层。

**23.6.2** 钢构件涂装后，在 24h 之内如遇大风或下雨时，应加以覆盖，防止沾染灰尘或水气，避免影响涂层的附着力

**23.6.3** 涂装后的钢构件需要运输时，应注意防止磕碰等损坏涂层。

**23.6.4** 涂装前，对其他半成品应作好遮蔽保护，防止污染。

**23.6.5** 应做好防火涂料涂层的维护与修理工作。如遇剧烈震动、机械碰撞或暴雨袭击等，应检查涂层无受损，并及时对涂层受损部位进行修理或采取其他处理措施。

## 23.7 注意事项

**23.7.1** 钢结构防火涂料涂装施工时应关注下列质量控制：

1 应注意钢材表面除锈及防锈漆涂装质量控制；

2 应注意防火涂层厚度和表面质量控制。

**23.7.2** 钢结构防火涂料涂装施工时应采取下列安全措施：

1 溶剂型防火涂料施工时，应在施工现场配备消防器材，不得现场明火，并有明显的禁止烟火的警示标志；

2 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；

3 防火涂料应储存在阴凉的仓库内，仓库内温度不宜高于 35 $^{\circ}\text{C}$ ，不应低于 5 $^{\circ}\text{C}$ ，不得露天存放或日晒雨淋；

4 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。

## 24 金属围护结构安装

### 24.1 材料要求

- 24.1.1** 建筑金属围护系统材料选用应满足设计和使用要求，并按照现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的规定进行抗风揭性能检测。
- 24.1.2** 材料的耐久性应满足建筑金属围护系统设计使用年限要求。
- 24.1.3** 金属材料应根据使用环境腐蚀性等级进行选择，并应符合规定
- 24.1.4** 常用金属板材料的化学成分和力学性能应符合规定。
- 24.1.5** 压型金属板可采用镀层或涂层钢板、铝合金板、不锈钢板、铜合金板、锌合金板等。
- 24.1.6** 压型钢板应符合国家现行标准《彩色涂层钢板及钢带》GB/T 12754、《建筑用压型钢板》GB/T12755、《压型金属板工程应用技术规范》GB 50896 和《冷轧高强度建筑结构用薄钢板》JG/T 378 的规定。
- 24.1.7** 压型金属板成型后,其基板不应有裂纹；有涂层、镀层压型金属板成型后，涂层、镀层不应有目视可见的裂纹、起皮、剥落和擦痕等缺陷。
- 24.1.8** 金属面夹芯板粘结强度、传热系数、防火性能等应符合现行国家标准《建筑用金属面绝热夹芯板》GB/T 23932 的规定。
- 24.1.9** 防水层、防水垫层、透汽层、隔汽层材料的品种、规格、物理力学性能指标应符合设计要求。
- 24.1.10** 透汽层材料可采用透汽膜或反射型透汽膜，材料产品规格不应小于 50g/m，主要性能应符合现行行业标准《透汽防水垫层》JC/T 2291 的规定。
- 24.1.11** 隔汽层材料可采用聚乙烯膜、聚丙烯膜、复合聚丙烯膜、防水卷材等，隔汽材料水蒸气透过量不应大于  $25\text{g}/(\text{m}^2 \cdot 24\text{h})$ 。
- 24.1.12** 绝热材料的规格、密度、导热系数、燃烧性能等应符合现行国家标准《建筑用绝热材料性能选定指南》GB/T 17369 的规定。
- 24.1.13** 绝热材料宜采用燃烧性能等级为 A 级的玻璃棉、岩棉、泡沫玻璃。
- 24.1.14** 绝热材料宜采用憎水性材料或不易受潮、吸湿材料。
- 24.1.15** 玻璃棉制品应符合现行国家标准《建筑绝热用玻璃棉制品》GB/T 17795 规定，表观密度不应小于  $12\text{kg}/\text{m}^3$
- 24.1.16** 岩棉制品符合现行国家标准《建筑用岩棉绝热制品》GB/T 19686-2015 的规定。

### 24.2 主要机具

- 24.2.1** 屋面、墙面围护系统主要安装工具有经纬仪、水准仪、铆钉枪、手电钻、自攻枪、磁力线坠、切割锯、钢盘尺、水平尺等。

**24.2.2** 防护设备（材料）有安全帽、安全带、密目式安全网、钢管、灭火器、标识标牌、竹架板、安全平网、气体检测仪、漏电保护器、绝缘胶鞋、绝缘手套、风镜口罩、手套、安全绳等。

### 24.3 作业条件

**24.3.1** 金属围护系统屋、墙面材料吊装作业应根据正式施工图纸及有关技术文件编制施工组织设计。

**24.3.2** 测量工器具必须具有在有效期内的检测报告方可使用。

**24.3.3** 对上一道工序进行相关验收以后方可进行金属围护系统材料的安装。

**24.3.4** 合理规划金属围护系统材料堆放区、现场制作区、拼装区，构件按安装顺序进场。

**24.3.5** 场地要平整坚实、并设排水沟。

**24.3.6** 在制作区、安装区设置足够的电源。

**24.3.7** 搭好高空作业操作平台、安全防护网，并检查牢固情况。

**24.3.8** 放好柱顶纵横安装位置线及调整好标高。

**24.3.9** 对参与金属围护系统的安装人员，安装工、测工、电焊工、起重机司机、指挥工要持证上岗。

**24.3.10** 已完成图纸审查，对所有尺寸、建筑物关系进行了校核，平面、立面、大样图所标注的同一位置的建筑物尺寸、形状、标高是否一致。

**24.3.11** 确定测量控制点原始坐标点、定位轴线、标高。

**24.3.12** 已完成原始坐标点进行复验，标高基准点应闭合。

### 24.4 施工工艺

**24.4.1** 安装前应进行下列准备工作：

- 1 建筑金属围护系统施工前应进行深化设计，并应经施工图设计单位确认；
- 2 建筑金属围护系统工程施工所用的材料应符合设计文件和国家现行有关标准的规定，并应具有质量合格证明文件；
- 3 建筑金属围护系统施工前，应编制施工组织设计及其配套的专项施工方案和安全方案；
- 4 金属面夹芯板等应在工厂加工；压型金属板宜在工厂加工，当受运输条件限制时可在工地现场加工；
- 5 材料或构件在运输、贮存过程中应采取保护措施，不得变形、破损和污染；
- 6 建筑金属围护系统施工应按下列规定进行质量过程控制：

- 1) 各工序应按施工工艺要求进行质量控制，实行工序检验；
  - 2) 相关各专业工种之间应进行交接检验；
  - 3) 隐蔽工程在封闭前应进行质量验收。
- 7 绝热材料、吸声材料应干燥，受潮材料不得使用。

#### 24.4.2 金属压型板安装应符合下列规定：

1 金属压型板安装前，应对支承结构构件进行验收，支承结构构件安装允许偏差图纸以及相关标准要求；

2 金属压型板吊装、搬运过程中应有防风、防变形等保护措施；

3 金属压型板的铺设和固定应符合下列规定：

1) 金属屋面板铺装顺序宜逆主导风向铺设；当在多维曲面上雨水可能翻越板肋横流时，板的横向搭接应顺流水方向；

2) 金属压型板施工过程中，应定期对压型金属板的安装基准点进行校核；并应从安装基准线开始铺设，第一块板应保证垂直(横板水平)度，并按规定的顺序和分区进行安装；安装第一块板时，应结合转角收边的安装，后续板块安装应与板横向搭接吻合，应边安装边调整偏差；

3) 当墙(底)面压型板铺设时，应根据支承结构构件位置在面板上预标注固定钉位置；

4) 当金属压型板安装时，应边铺设边调整位置、边固定。对于细部节点部位，在铺设金属面板时，还应根据深化设计要求，敷设泛水板和防水密封材料等；

5) 未完成连接固定的金属压型板应有临时固定措施；

6) 铺设面板时，应在面板上设置临时施工通道，板面不应受损伤；

7) 应根据安装环境温差对金属面板长度进行修正。

4 屋面及墙面压型金属板的长度方向连接采用搭接连接时，搭接端应设置在支承构件(如檩条、墙梁等)上，并应与支承构件有可靠连接。当采用螺钉或铆钉固定搭接时，搭接部位应设置防水密封胶带。压型金属板长度方向的搭接长度应满足设计要求，且当采用焊接搭接时，压型金属板搭接长度不宜小于 50mm；当采用直接搭接时，压型金属板搭接长度不宜小于表 24.4.2-1 规定的数值；

表 24.4.2-1 压型金属板在支撑构件上的搭接长度 (mm)

项目		搭接长度
屋面、墙面内层板		80
屋面外层板	屋面坡度 $\leq 10\%$	250

	屋面坡度 $\geq 10\%$	200
墙面外层板		

5 金属压型板、泛水板、包角板和屋脊盖板安装的允许偏差应符合表 24.4.2-2 规定的数值；

表 24.4.2-2 压型金属板、泛水板、包角板屋脊盖板安装的允许偏差 (mm)

项目		允许偏差
屋面	檐口、屋脊与山墙收边的直线度、檐口与屋脊的平行度、屋脊改版与屋脊的平行度	12.0
	压型金属板板肋或波峰直线度、压型金属板板肋对屋脊的垂直度	$L/800$ , 且不大于 25.0
	檐口相邻两块压型金属板端部错位	6.0
	压型金属板卷边板件最大浪高	4.0
墙面	竖排板的墙板波纹线与地面的垂直度	$H/800$ , 且 $\leq 25.0$
	横排板的墙板波纹线与檐口的平行度	12.0
	墙板包角板相对地面的垂直度	$H/800$ , 且 $\leq 25.0$
	相邻两块压型金属板的下端错位	6.0

6 金属压型板端部现场切割时切割面应整齐、干净；

7 金属压型板安装完成后，成品保护应符合下列规定：

1) 应保护屋面免受坠物冲击，不应在屋面上任意行走或堆放物件；

2) 当在已安装好的金属面板上施工时，应在作业面、行走通道等部位铺设木板等临时保护措施；

3) 当进行焊接作业时，应采取措施防止损坏金属面板；

4) 安装完成的金属板应清洁，不应留有杂物。

24.4.3 金属面夹芯板安装应符合下列规定：

1 金属面夹芯板与支承结构构件的连接应牢固可靠，并应满足热胀冷缩的要求；

2 当金属面夹芯屋面板安装搭接时，屋面板长度方向的搭接点应设置在支承结构构件上。金属面板搭接长度不小于 250mm。芯材应对接密实，对接缝应采取密封措施；

3 搭接部位应使用紧固件连接，间距不得大于 300mm。所有搭接缝应密封，紧固件外露部位应采取防水措施；

4 当夹芯板墙上安装吊挂件时，应与主体结构相连。当夹芯板墙体穿孔安装吊挂件时，宜采用套管螺栓及垫圈；

5 当在夹芯板成品上钻孔、切割等作业时，应对夹芯板表面进行保护，遗留的金属屑、螺钉、泡沫等应随时清除；

6 夹芯板屋面安装允许偏差和检验方法应符合表 24.4.3-1 的规定；

表 24.4.3-1 夹芯板屋面工程安装允许偏差和检验方法

序号	项目	允许偏差 (mm)	检验方法
1	檐口、屋脊、山墙收边的直线度 檐口与屋脊的平行度	≤6	丈量、拉线、经纬仪 检查
2	板肋或波峰直线度 板肋对屋脊的垂直度	L/1000 且不应大于 5	
3	檐口相邻两块板端部错位	≤3	

7 夹芯板墙面工程安装允许偏差和检验方法应按表 24.4.3-2 相关要求执行。

表 24.4.3-2 夹芯板墙面工程安装允许偏差和检验方法

序号	项目	允许偏差 (mm)	检验方法	
1	基础和墙体顶面标高	±3	用吊线、直尺、 水准仪或经纬 仪检查	
2	垂直度	墙体总高≤3m 时		≤3
		3m<墙体总高≤10m 时		≤3
		墙体总高>10m 时		≤5
3	墙面横向 水平度	墙面长度≤10m 时		≤3
		墙面长度>10m 时		≤5
4	门、窗洞口	水平度每米长度		±3
		垂直度每米长度		±3
5	外墙窗口上下偏移	≤5		

24.4.4 紧固件的安装应符合下列规定：

- 1 紧固件的材质、规格、间距、数量等应按深化设计要求进行施工；
- 2 紧固件应采用专用工具进行安装；
- 3 紧固件应与构件表面垂直。

24.4.5 金属屋面板应满足相应的抗风揭要求，宜在檐口等抗风薄弱部位，设置抗风金属压条，并应满足设计要求，确保安全。

24.4.6 节点部位各构造层应做好收边处理，并应满足防水、热工等设计要求。

24.4.7 天沟或檐沟的安装应符合下列规定：

- 1 断面尺寸、坡度、连接方式和伸缩缝的设置应符合设计要求；
- 2 雨水斗安装应与天沟或檐沟连接牢固，并采用可靠密封措施；
- 3 天沟或檐沟的涂装及防腐蚀处理应满足设计要求；
- 4 安装完毕的天沟，排水应顺畅，底部不应积水。

24.4.8 金属屋面檐口、屋脊、山墙部位的构造安装应符合下列规定：

- 1 金属屋面应在屋脊或檐口设置固定点。屋面板伸出非固定端长度应满足设计要求；
- 2 屋脊和檐口部位应设置相应的挡水构造；

3 山墙部位当采用滑动连接系统时应设置可伸缩连接件, 并应固定山墙部位的泛水板。

**24.4.9** 系统变形缝及构件穿出部位的构造安装应符合下列规定:

1 结构变形缝处各构件连接应安全、可靠, 绝热层、防水层或防水垫层、透汽层和隔汽层等应连续铺设, 并应适应结构变形;

2 构件穿出部位各构件连接应安全可靠, 应有可靠防水措施, 宜采用柔性材料处理, 并应适应金属围护系统和穿出构件之间相对变形。

**24.4.10** 外墙系统与门窗洞口交界处, 应采用专用密封材料封堵。封堵宜采用柔性材料。

**24.4.11** 墙面压型金属板开洞处, 当洞口尺寸大于或等于 150mm 时, 应在洞口周边设置支承结构构件, 并应固定牢固。

**24.4.12** 当采用密封胶封堵时, 构件表面应清洁, 密封胶的使用温度和湿度应符合国家现行相关标准的规定。

**24.4.13** 金属屋面防雷引下线安装应固定牢固、连接可靠。

**24.4.14** 泛水板加工前应复测现场尺寸, 安装前应先放线, 固定应牢固可靠, 密封材料敷设应完好。泛水板安装应符合下列规定:

1 泛水板宜采用与金属外板同材质材料, 其厚度不应小于金属外板厚度;

2 在保证功能条件下, 泛水板宜采用较小断面尺寸;

3 泛水板应铺设整齐, 连接牢固。泛水板搭接应顺水坡向搭接, 外露泛水板搭接连接宜采用双排连接用紧固件固定并采用多道防水密封胶密封。其搭接长度不应小于 150mm, 连接用紧固件间距不应大于 80mm;

4 密封材料敷设应均匀完整, 外观应良好。

## 24.5 质量标准

**24.5.1** 固定金属围护系统的钢支承结构构件加工应符合现行国家标准《钢结构工程施工规范》GB 50755、《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205、《门式刚架轻型房屋钢结构技术规范》GB 51022 和《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 的规定。

**24.5.2** 铝支承结构构件加工应符合国家现行标准《铝合金结构工程施工质量验收规范》GB 50576 和《铝合金结构工程施工规程》JGJ/T 216 的规定。

**24.5.3** 金属围护系统的安装质量应符合国家现行标准《压型金属板工程应用技术规范》GB 50896、《建筑金属围护系统工程技术标准》JGJ/T 473。

## 24.6 成品保护

**24.6.1** 金属围护系统的成品在工厂加工包装完成后, 装车要用专用叉车、专用工具进行装卸, 防止由于装车不当造成材料的出厂前损坏。

**24.6.2** 装车完毕后板材封车要采用防护包角，避免长途运输过程中由于风绳与墙板间的摩擦造成包装皮破损，及墙板损坏。

**24.6.3** 成品材料在放置时，在材料下方安置一定数量的软质垫块，禁止放置于低洼处，禁止材料直接与地面接触，避免雨后积水浸泡；

**24.6.4** 材料与材料需要重叠放置的时候，在材料间放置垫木或橡胶垫以防止材料间摩擦与碰撞；

**24.6.5** 成品、半成品的施工过程防护措施应按照成品保护方案要求进行作业。如有动火作业，必须查验动火证后方可允许施工。

**24.6.6** 已安装完毕的墙板，临近地面 2m 线以下要做好防撞措施。

## **24.7 注意事项**

**24.7.1** 材料与材料间应放置一定的聚氨酯垫块等缓冲物，防止运输过程中材料因碰撞而损坏。

**24.7.2** 材料现场堆放应集中在材料堆场内，堆场应平整、坚固、干净、通风，并应做好排水。材料堆放区域应设立警示标牌及防撞栏杆，做好防雨措施。

**24.7.3** 材料堆放整齐，堆放时应放在稳定的枕木上，防止变形。墙板避免接受太阳光直射，采用彩条布或类似产品进行覆盖。

**24.7.4** 材料二次搬运时，应采取措施避免金属压型板的变形与损坏。

**24.7.5** 现场进行金属压型板切割时，宜避免产生炽热的铁屑飞溅，造成涂镀层的表面破坏。

## 本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的用词

正面词采用“应”，反面词采用“不得”

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”，

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”：

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”

2 本规程中指明应按其他有关标准、规范执行的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

## 引用标准名录

1	《建筑设计防火规范》	GB 50016
2	《钢结构设计标准》	GB 50017
3	《冷弯薄壁型钢结构技术规范》	GB 50018
4	《建设工程施工现场供用电安全规范》	GB 50194
5	《钢结构工程施工质量验收标准》	GB 50205
6	《建筑工程施工质量验收统一标准》	GB 50300
7	《铝合金结构工程施工质量验收规范》	GB 50576
8	《钢结构焊接规范》	GB 50661
9	《钢结构工程施工规范》	GB 50755
10	《压型金属板工程应用技术规范》	GB 50896
11	《门式钢架轻型房屋钢结构技术规范》	GB 51022
12	《重型结构和设备整体提升技术规范》	GB 51162
13	《建筑钢结构防火技术规范》	GB 51249
14	《普通螺纹基本尺寸》	GB/T 196
15	《普通螺纹公差》	GB/T 197
16	《金属材料拉伸试验 第1部分：室温试验方法》	GB/T 228.1
17	《碳素结构钢》	GB/T 700
18	《气焊、焊条电弧焊、气体保护焊和高能束焊的推荐坡口》	GB/T 985.1
19	《钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件》	GB/T 1231
20	《钢筋混凝土用钢 第1部分：热轧光圆钢筋》	GB 1499.1
21	《钢筋混凝土用钢-第2部分：热轧带肋钢筋》	GB 1499.2
22	《低合金高强度结构钢》	GB/T 1591
23	《连续热镀锌薄钢板和钢带》	GB/T 2518
24	《低压流体输送用焊接钢管》	GB/T 3091
25	《紧固件机械性能》	GB/T 3098
26	《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副》	GB/T 3632
27	《预应力混凝土用钢绞线》	GB/T 5224
28	《铝合金建筑型材》	GB/T 5237
29	《熔化极气体保护电弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝》	GB/T 8110
30	《建筑材料和制品燃烧性能分级》	GB 8624
31	《涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定第1部分：未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级》	GB 8923.1
32	《可锻铸铁件》	GB/T 9440
33	《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》	GB 10433
34	《一般工程用铸造碳钢件标准》	GB 11352
35	《彩色涂层钢板及钢带》	GB/T 12754
36	《建筑用压型钢板》	GB/T12755
37	《直缝电焊钢管》	GB/T 12793
38	《冷轧带肋钢筋》	GB 13788
39	《钢结构防火涂料》	GB 14907
40	《熔化焊用钢丝》	GB/T 14957
41	《钢管脚手架扣件》	GB 15831

42	《钢网架螺栓球节点用高强度螺栓》	GB/T 16939
43	《建筑用绝热材料性能选定指南》	GB/T 17369
44	《建筑绝热用玻璃棉制品》	GB/T 17795
45	《建筑用岩棉绝热制品》	GB/T 19686
46	《钢拉杆》	GB/T 20934
47	《建筑用金属面绝热夹芯板》	GB/T 23932
48	《工业防护涂料中有害物质限量》	GB 30981
49	《钢结构防护涂装通用技术条件》	GB/T 28699
50	《色漆和清漆 涂料配套性和再涂性的测定》	GB/T 34681
51	《空间网格结构技术规程》	JGJ 7
52	《施工现场临时用电安全技术规范》	JGJ 46
53	《建筑施工高处作业安全技术规范》	JGJ 80
54	《钢结构高强度螺栓连接技术规程》	JGJ 82
55	《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》	JGJ 130
56	《铝合金结构工程施工规程》	JGJ/T 216
57	《索结构技术规程》	JGJ 257
58	《建筑金属围护系统工程技术标准》	JGJ/T 473
59	《钢网架螺栓球节点》	JG/T 10
60	《钢网架焊接空心球节点》	JG/T 11
61	《钢筋桁架楼承板》	JG/T 368
62	《冷轧高强度建筑结构用薄钢板》	JG/T 378
63	《手拉葫芦》	JB/T 7334
64	《编织吊索 安全性 第1部分：一般用途合成纤维扁平吊装带》	JB/T 8521.1
65	《透汽防水垫层》	JC/T 2291
66	《不锈钢拉索》	YB/T 4294
67	《膜结构工程施工质量验收规程》	DB11/T 743

北京市地方标准

建筑工程施工工艺规程  
第 5 部分：钢结构工程

Construction process specification for construction  
Engineering part 5: steel structure engineering

DB11/T 1832.5-2023

条文说明

2023 北京

## 目 次

2 基本规定.....	181
3 钢结构制作.....	182
4 焊条电弧焊.....	183
5 电弧焊.....	188
7 二氧化碳气体保护焊.....	189
8 栓钉焊接.....	191
9 单层钢结构安装.....	192
10 多层与高层钢结构安装.....	193
12 楼承板安装.....	194
13 空间网格结构高空散装法安装.....	195
14 空间网格结构分条或分块法安装.....	196
15 空间网格结构高空悬挑法安装.....	197
17 整体吊装法安装.....	198
18 整体提升法安装.....	199
21 膜结构制作与安装.....	200
22 钢结构防腐涂装.....	201
24 金属围护结构安装.....	202

## 2 基本规定

**2.0.6** 焊接工艺评定主要是为验证拟定的焊件是否满足焊接工艺规程（指导书）要求，标志焊件焊接接头的使用性能符合标准要求。焊接工艺评定是通过焊接过程中的一整套技术规范，从焊接前准备、焊接材料、焊接设备、焊接方法、焊接顺序、焊接操作、焊后热处理、焊后检验及评定。钢结构焊接工艺是证明该项钢结构工程所采用的焊接工艺能满足该钢结构使用性能的要求，也是提供质量监督管理部门进行的开工审批，施工过程的监督管理，竣工验收的必备文件。

焊接工艺评定的基本要求：

- 1 凡施焊单位首次采用的钢种、焊接材料和焊接方法必须进行焊接工艺评定。
- 2 首先由具有一定专业知识有相当实践经验焊接工艺人员，根据钢材的焊接性试验，结合产品设计要求和工艺条件来制定焊接工艺评定指导书进行试件的焊接工艺评定，工艺评定的基础是钢材的焊接性能试验，以可靠的钢材焊接性能试验为依据，应在工程焊接之前来完成。
- 3 工艺评定的焊接试件应由施焊单位的持证的焊接人员按照焊接工艺指导书的要求进行焊接。
- 4 焊接工艺评定所选用的板型钢材、管材、焊材、接头形式等应与工程实际相类同，所用设备、仪表应处于正常工作状态。
- 5 完成的焊接工艺试件应经外观、无损检测、机械性能、金相等项内容检查。将实际施焊参数记录和各项检验资料整理完成的焊接工艺评定报告，由施焊单位技术负责人批准后编制焊接作业指导书进行实施。

### 3 钢结构制作

#### 3.4 施工工艺

**3.4.12** 网架结构主要分为焊接空心球节点网架和螺栓球节点网架。焊接空心球节点由焊接空心球和杆件焊接而成。根据工艺要求在杆件与焊接空心球焊缝连接处可设置衬管。焊接空心球由两个半球焊接而成，可分为无肋焊接空心球和加肋焊接空心球。

焊接空心球的半球由圆形坯料钢板经加热后压制而成。螺栓球节点由螺栓球、高强度螺栓、套筒、锥头或封板、紧固螺钉组成。

## 4 焊条电弧焊

### 4.1 材料要求

**4.1.2** 由于熔敷金属的抗拉强度比焊条牌号的名义强度高不少，在焊接高强钢时因母材熔入影响，焊缝金属实际抗拉强度比焊条牌号的名义强度高得多。因此，可选用抗拉强度低一等级的焊条，使焊缝金属与母材实际等强。

碳当量较高、工作厚度大、结构刚性大、施焊环境温度低时，母材或结构易裂，因此要求选用塑性韧性好、含氢量低及抗裂性能好的碱性焊条，即低氢焊条。选用高韧性、超低氢焊条，可以提高接头的抗冷裂性能。

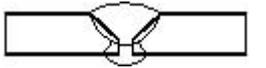
铸铁是含碳量大于 2% 的铁碳合金。由于铸铁的含碳量高、组织不均匀、塑性低，所以属于焊接性不良的材料。在焊接过程中极易产生白口、裂纹和气孔等缺陷，因此铸铁焊对焊工技术熟练程度要求也较高，铸铁焊条大体可分预热焊和冷态焊两种。

国内可以提供 10 种以上的铸铁电焊条，可按不同的铸铁材料，不同的切削加工要求以及焊补件的重要程度分别选用。

### 4.4 施工工艺

**4.4.2** 焊条电弧焊的工艺参数示例见表 1。

表 1 焊条电弧焊工艺参数示例

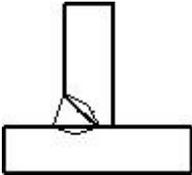
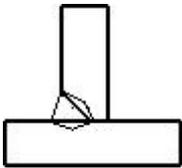
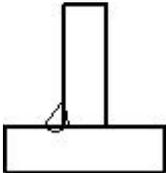
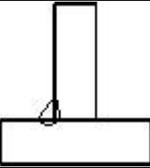
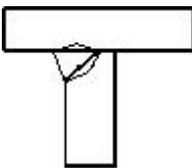
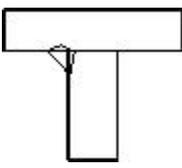
焊缝空间位置	焊缝断面示意图	焊件厚度或焊角尺寸 (mm)	第一层焊缝		以后各层焊缝		封底焊缝	
			焊条直径 (mm)	焊接电流 (A)	焊条直径 (mm)	焊接电流 (A)	焊条直径 (mm)	焊接电流 (A)
平对接焊缝		2	2	55~60			2	55~60
		2.5~3.5	3.2	90~120			3.2	90~120
		4.0~5.0	3.2	100~130			3.2	100~130
			4	160~200			4	160~210
			5	200~260			5	220~250
		5.6~6.0	4	160~210			3.2	100~130
			5	200~260			4	180~210
		>6.0	4	160~210	4	160~210	4	180~210
					5	220~280	5	220~260
			4	160~210	4	160~210		
	>12	4	160~210	4	160~210			
				5	220~280			
立对		2	2	50~55			2	50~55

接焊缝		2.5~4.0	3.2	80~110			3.2	80~110
		5.0~6.0	3.2	90~120			3.2	90~120
		7.0~10	3.2	90~120	4	120~160	3.2	90~120
			4	120~160				
		≥11	3.2	90~120	4	120~160	3.2	90~120
			4	120~160	5	160~200		
		12~18	3.2	90~120	4	120~160		
			4	120~160				
		≥19	3.2	90~120	4	120~160		
			4	120~160	5	160~200		

续表 1 焊条电弧焊工艺参数示例

焊缝空间位置	焊缝断面示意图	焊件厚度或焊角尺寸 (mm)	第一层焊缝		以后各层焊缝		封底焊缝	
			焊条直径 (mm)	焊接电流 (A)	焊条直径 (mm)	焊接电流 (A)	焊条直径 (mm)	焊接电流 (A)
横对接焊缝		2	2	50~55			2	50~55
		2.5	3.2	80~110			3.2	80~110
		3.0~4.0	3.2	90~120			3.2	90~120
			4	120~160			4	120~160
		5.0~8.0	3.2	90~120	3.2	90~120	3.2	90~120
					4	140~160	4	120~160
		>9.0	3.2	90~120	4	140~160	3.2	90~120
			4	140~160			4	120~160
		14~18	3.2	90~120	4	140~160		
			4	140~160				
		>19	4	140~160	4	140~160		
	仰对接焊缝		2					2
2.5							3.2	80~110
3.0~5.0							3.2	90~110
							4	120~160
		5.0~8.0	3.2	90~120	3.2	90~120		
					4	140~160	4	140~160
		>9.0	3.2	90~120	4	140~160		
			4	140~160				
		12~18	3.2	90~120	4	140~160		
			4	140~160				
		>19	4	140~160	4	140~160		

续表 1 焊条电弧焊工艺参数示例

焊缝空间位置	焊缝断面示意图	焊件厚度或焊角尺寸(mm)	第一层焊缝		以后各层焊缝		封底焊缝	
			焊条直径(mm)	焊接电流(A)	焊条直径(mm)	焊接电流(A)	焊条直径(mm)	焊接电流(A)
平角焊接		2	2	5565				
		3	3.2	100~120				
		4	3.2	100~120				
			4	160~200				
		5.0~6.0	4	160~200				
			5	220~280				
	>7.0	4	160~00	5	220~280			
		5	220~280					
				4	160~200	4	160~200	
				5	220~280			
立角焊接		2	2	50~60				
		3.0~4.0	3.2	90~120				
		5.0~8.0	3.2	90~120				
			4	120~160				
	9.0~12	3.2	90~120	4	120~160			
		4	120~160					
			3.2	90~120	4	120~160	3.2	90~120
			4	120~160				
仰角焊接		2	2	50~60				
		3.0~4.0	3.2	90~120				
		5.0~6.0	4	120~160				
		>7.0	4	120~160	4	140~160		
			3.2	90~120	4	140~160	3.2	90~120
			4	140~160			4	140~160

盖面焊时，为防止咬边和获得较美观的焊缝，使用的电流稍小些。

低氢型焊条采用短弧、低压操作能得到比较好的焊接效果。所谓短弧是指弧长为焊条直径的 0.5 倍~1.0 倍。电弧电压主要取决于弧长。电弧长，则电压高；反之，则低。

**4.4.8** 定位焊缝的余高不应过高，定位焊缝的两端与母材平缓过渡，可以防止正式焊接时产

生未焊透等缺陷。

**4.4.13** 金属焊接时在局部加热、熔化过程中，加热区的金属与周边的母材温度相差很大，产生焊接过程中的瞬时应力，冷却至原始温度后，整个接头区焊缝及近缝区的拉应力区与母材在压应力区数值达到平衡，这就产生了结构本身的焊接残余应力，此时，在焊接残余应力的作用下焊接件结构发生多种形式的变形。钢结构焊接后发生的变形大致可分为两种情况：即整体结构的变形和结构局部的变形。整体结构的变形包括结构的纵向和横向缩短和弯曲（即翘曲）。局部变形表现为凸弯、波浪形、角变形等多种。

采用焊前反变形方法控制焊后的角变形，是生产中最常见的一种方法，而预先把焊件做出基本抵消（补偿）焊后弯曲的反变形，来达到防止焊后变形的目的。

## 5 埋弧自动焊

### 5.1 材料要求

**5.1.2** 焊丝焊剂：硅锰型焊剂（MS）、低锰（SU08A）、含锰（SU26）焊丝、低锰或无锰高硅焊剂（SJ101）、高锰焊丝（H10Mn2）。

## 7 二氧化碳气体保护焊

### 7.1 材料要求

**7.1.2** 药芯焊丝是将薄钢带卷成圆形钢管或异性钢管的同时，在其中填满一定成分的药粉，经拉制而成的一种焊丝，又称粉芯焊丝或管状焊丝。药丝的作用与焊条药皮相似，区别在于焊条药皮涂敷在焊芯的外层，而药芯焊丝的药粉被薄钢带包裹在芯里。药芯焊丝绕制成盘状供应，易于实现机械自动化焊接。

焊丝选择主要考虑碳当量含量，目前我国常用 CO<sub>2</sub> 气体保护焊焊丝是 H08Mn2SiA，其化学成分见《熔化焊用钢丝》GB/T 14957-94 的表 3。它适用于焊接低碳钢和抗拉强度为 500MPa 级的低合金结构钢。

### 7.4 施工工艺

**7.4.2** 选择直径较大的焊丝可减少杂质含量。

**7.4.14** 关于焊缝等级的定义的部分要求见国家标准《钢结构设计标准》GB 50017

**7.7.5** 工艺参数对焊缝形状的影响见图 1。

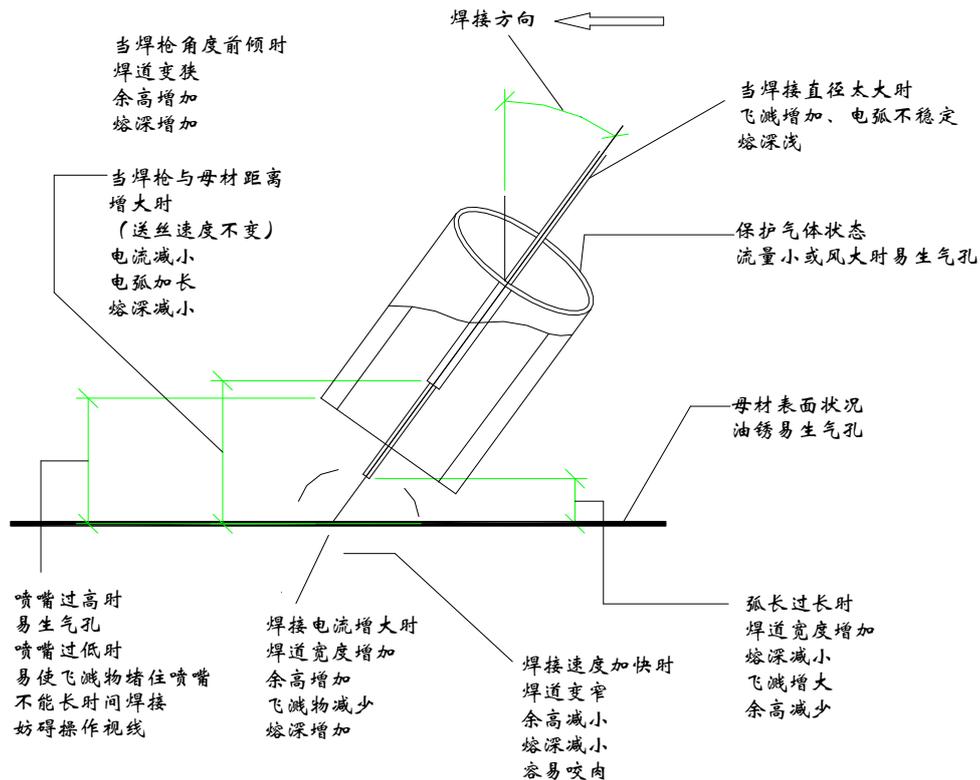


图 1 工艺参数对焊缝形状的影响

其他因素对焊缝形状的影响有：

因为球状端头的存在等于是加粗了焊丝直径，并且该球面端头覆盖了一层氧化膜，对引弧不利。对接焊采用引弧板，或在距板材端部 2mm~4mm 处引弧，可以清除未焊透、气孔

等引弧的缺陷。

如果收尾时立即断弧则会形成低于焊件表面的弧坑,过深的弧坑会使焊道收尾处的强度减弱,并且容易造成应力集中而产生裂纹。

T型接头焊接时,易产生咬边、未焊透、焊缝下垂等现象。为了防止这些缺陷,在操作时,除了正确执行焊接工艺参数,还要根据板厚和焊角尺寸来控制焊丝的角度。

## 8 栓钉焊接

### 8.1 材料要求

**8.1.1** 栓钉的大头是冷墩制成的，因此，要求顶锻性能良好，使用中应防止出现锻造裂纹。

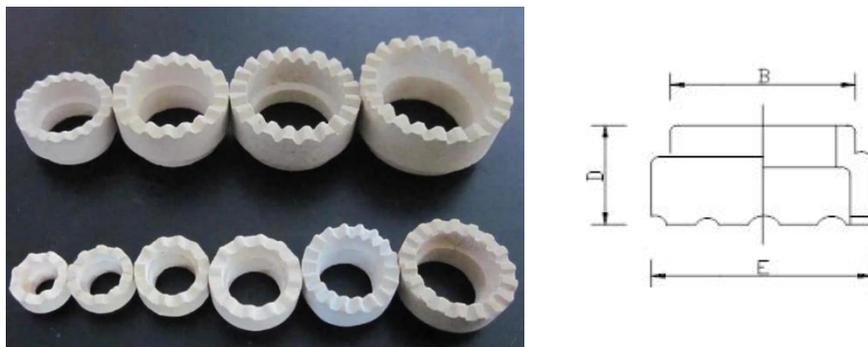
**8.1.5** 焊接瓷环是服务于栓钉焊的一次性辅助焊接材料，利用陶瓷耐高温的特性保护焊接熔液不外泄，使其冷却成型，提高焊接质量。其主要作用有以下几点：

- 1 使融化金属成型，不外溢，起到铸膜的作用。
- 2 使融化金属与空气隔绝，防止融化金属被氧化。
- 3 集中电弧热量，并使成型焊缝缓慢冷却。
- 4 释放焊接过程中的有害气体。
- 5 屏蔽电弧光与飞溅物。
- 6 充当临时支架。构成焊枪操作系统的一部分。

采用栓钉直接焊在工件上的普通栓钉焊，使用普通瓷环。栓钉在引弧后先要熔穿具有一定厚度的薄钢板(一般厚度在 0.816mm)，然后再与工件熔成一体，穿透需要的瓷环壁厚要大干普通瓷环，下部排气孔总面积亦是普通瓷环的 13 倍。

瓷环的尺寸关键是控制支撑焊枪平台的高度和瓷环中心栓钉孔的直径。由于瓷环生产工艺的差异，其产品尺寸的精确程度和稳定性将直接影响栓钉焊的质量。瓷环示意图见图 2。

图 2 瓷环



## 9 单层钢结构安装

### 9.4 施工工艺

**9.4.11 支座就位控制：**为解决大型拱架就位后对钢柱水平推力，并产生位移。采取垫设 3mm 厚度的聚四氟板的方法，其摩擦系数为 0.04，可保证支座自由滑移。对钢柱的推力引起的顶端侧向变形很小。

拱架就位：为解决拱架就位产生位移，先就位高支座后就位低支座。在高支座处螺孔改为长圆孔。

**9.4.2 构件吊装**可分为柱、连系梁、柱间支撑、吊车梁、托架、副桁架等竖向构件吊装和屋架、屋盖支撑、桁架、屋面压型板、制动桁架、挡风桁架等平面构件吊装两大类，一般施工先吊装竖向构件，称为单件流水法吊装，后吊装平面构件，称为节间综合法安装。

**9.4.4 柱基有钢柱直接插杯口**，有钢柱直接与基础预埋件螺栓或焊接连接。根据钢柱实际长度，柱底平整度，钢牛腿顶部距柱底部距离，重点要保证钢牛腿顶部标高值，以此来控制基础找平标高。

## 10 多层与高层钢结构安装

本章适用于多层与高层钢结构房屋，包括采用装配整体式楼屋盖的房屋。对采用钢结构的高层建筑，从安全和经济诸方面综合考虑，其适用最大高度应有限制。当钢结构的房屋高度超过最大适用高度时，应通过专门研究，采取有效加强措施，并按建设部部长令的有关规定进行专项审查。

### 10.1 材料要求

**10.1.3** 多层与高层建筑钢结构的钢材，主要采用 Q235 的碳素结构钢和 Q345 的低合金高强度结构钢。当有可靠根据时，可采用其它牌号的钢材，但需符合相对应的现行国家标准的规定。

**10.1.4** 钢板和型钢表面允许有不妨碍检查表面缺陷的薄层氧化铁皮、铁锈、由于压入氧化铁皮脱落引起的不显著的粗燥和划痕、轧辊造成的网纹和其他局部缺陷，但凹凸度不得超过厚度负公差的一半。

### 10.3 作业条件

**10.3.4** 如焊接工艺试验、压型钢板施工及栓钉焊接检测工艺试验。尤其是对新工艺、新材料，应做好工艺试验，作为指导生产的依据。对于栓钉焊接工艺试验，根据栓钉的直径、长度及是穿透压型钢板焊还是直接打在钢梁等支撑点上的栓钉焊接，应做相应的电流大小、通电时间长短的调试。对于高强度螺栓，应做好高强度螺栓连接副和抗滑移系数的检测合格。

### 10.4 施工工艺

**10.4.2** 多高层钢结构由于制作和吊装的需要，须对整个建筑从高度方向划分若干个流水段，并以每节框架为单位即一柱N层。在吊装时，除保证单节框架自身的刚度外，还需保证自升式塔式起重机(特别是内爬式塔式起重机)在爬升过程中的框架稳定。钢柱分节时既要考虑工厂的加工能力、运输限制条件以及现场塔吊的起重性能等因素，还应综合考虑现场作业的效率以及与其他工序施工的协调，所以钢柱分节一般取 2 层~3 层为一节；在底层柱较重的情况下，也可适当减少钢柱的长度。为了加快吊装进度，每节流水段(每节框架)内还需在平面上划分流水区。把混凝土筒体和塔式起重机爬升区划分为一个主要流水区；余下部分的区域，划分为次要流水区；当采用两台或两台以上的塔式起重机施工时，按其不同的起重半径划分各自的施工区域。将主要部位(混凝土筒体、塔式起重机爬升区)安排在先行施工的区域，使其早日达到强度，为塔吊爬升创造条件。

### 10.7 注意事项

**10.7.20** 在雨季、冬季里，构件上常因潮湿或积有冰雪而容易使操作人员滑倒，因此需采取清扫积雪后再安装，高空作业人员应穿防滑鞋方可操作。

## 12 楼承板安装

### 12.2 主要机具

**12.2.1** 吊装设备可采用吊车或项目已经配备的其他吊装设备。软吊带用于楼承板吊运。

**12.2.2** 交流弧焊机用于楼承板与钢梁的焊接施工、边模板施工。栓钉焊机用于栓钉焊接施工。数量依据工作面、施工人员数量等情况合理配置。

**12.2.3** 切割楼承板时宜采用等离子切割机。

## 13 空网格结构高空散装法安装

### 13.4 施工工艺

**13.4.2 3** 将拼装支架设置成可移动支架可节约支撑材料和减少支架拼装时间、加快进度。

**4** 根据各支撑点的结构自重挠度值，采用分区分阶段按比例下降或用每步不应大于10mm等步下降法拆除临时支承点可以防止个别支承点集中受力。

**13.4.6** 支撑胎架可采用钢管脚手架搭设，也可采用型钢支架形式，支撑胎架有点式，和框架体系两种。

## 14 空间网格结构分条或分块法安装

### 14.4 施工工艺

**14.4.2** 在网架拼装过程中经常观察支架变形情况并及时调整,可避免由于拼装支架的变形而影响网架的拼装精度。

拼装支承点的拆除遵循“变形协调,卸载均衡”的原则,否则临时支座超载失稳,或者造成空间网格的局部甚至整体受损。

**14.4.3** 关于分条分块单元划分,网架单元相互靠紧将下弦双角钢分开在两个单元上的方法可用于正放四角锥等网架,网架单元相互靠紧将单元间上弦用剖分式安装节点连接的方法可用于斜放四角锥等网架。单元之间空一节间,该节间在网架单元吊装后再在高空拼装,可用于两向正交正放等网架。

当斜放四角锥等斜放类网架划分成条状单元时,由于上弦或下弦为菱形几何可变体系因此应加固后才能吊装。宜按图 14.4.3 所示为斜放四角锥网架划分成条状单元后上弦加固方法。

分条分块安装法多在中小跨度中应用。

### 14.7 注意事项

**14.7.1** 分条或分块安装顺序由中间向两端安装,或从中间向四周发展,可便于减小累积误差。

## 15 空间网格结构高空悬挑法安装

空间网格结构高空悬挑法安装主要适用于非焊接连接(尤其适用于采用螺栓球节点和高强度螺栓连接)的空间网格结构,施工时应先拼装成可承受自重的稳定结构单元(起步跨),在不使用或使用少量支架的情况下,在高空悬空状态下,将小拼单元或零散杆件直接按照一定的施工顺序在设计位置依次组装完成,是高空散装法的一种。

### 15.4 施工工艺

**15.4.2** 常见的小拼单元有单根杆件(或单个节点)、一球一杆、一球三杆(三角锥体)、一球四杆(四角锥体)、两球一杆。安装前组成小拼单元,可以减少高空作业工作量。实际施工时直接由单根杆件(或单个节点)和各种小拼单元组合共同总体拼装成空间网格结构。

**15.4.2** 滑动式摩擦滑移时在滑轨上涂刷滑润油、滑撬前后做成圆弧导角,可以防止产生“卡轨”现象。

**15.4.4.1** 从一端向另一端安装常见平面呈矩形的周边支承两向正交正放网架安装顺序可由建筑物的一端向另一端呈平行边形推进。

从中间向两端安装常见对于长度比较长的圆柱面网壳,为减少积累误差,安装顺序可由中间向两端安装。

从中部向四周常见于常见对于三边支承、两边支承和多点支承的网格结构,可由网架支座位置为中心,开始向四周扩散安装;

从四周向中部安装常见对于跨度球面网壳,可以减少支撑数量。

## 17 整体吊装法安装

### 17.4 施工工艺

**17.4.3** 空间结构及桁架提升时，每根拔杆两侧滑轮组夹角相等，上升速度一致，两侧滑轮组受力  $F_{t1}$  等于  $F_{t2}$ ，水平力  $H_1$  等于  $H_2$ ，空间结构及桁架垂直上升，不会水平移动。

空间结构及桁架在空中移位时，每根拔杆同为左侧或同为右侧的滑轮组钢丝绳徐徐放松、相反一侧滑轮组不动，此时放松一侧的钢丝绳因松弛而拉力  $F_{t2}$  变小，另一侧  $F_{t1}$  则由于空间结构及桁架重力而增大，两边的水平分力就不再相等， $H_1$  大于  $H_2$ ，不相等的两个力推动空间结构及桁架移动或转动。

空间结构及桁架就位时，空间结构及桁架移动至设计位置上空时，一侧滑轮组停止放松钢丝绳而处于拉紧状态， $H_1$  等于  $H_2$ ，空间结构及桁架恢复平衡。

关于空间结构及桁架空中移动的方向，空间结构及桁架采用 4 根拔杆对称布置，拔杆起重滑轮组与拔杆所构成的起重平面方向一致，且平行于空间结构及桁架的一边，空间结构及桁架产生的水平分力  $H$  平行于空间结构及桁架的一边，空间结构及桁架即产生单向的位移。

**17.4.4** 空间结构及桁架空中旋转时，拔杆布置在同一圆周上，起重平面垂直于空间结构及桁架半径，空间结构及桁架产生运动的水平分力  $H$  与拔杆起重平面相切，空间结构及桁架在水平切向力  $H$  的作用产生绕其圆心旋转的运动。

**17.4.6** 提升高差允许值即相邻两拔杆间或相邻两吊点组的合力点间的相对高差。

**17.4.7** 多根拔杆整体提升的空间结构应保持拔杆顶端偏移值最小。缆风绳的初拉力可适当加大，防止拔杆与地锚负荷太大等问题。

多机抬吊时起重机吊钩升降速度需一致，避免出现起重机超载和空间结构及桁架受扭等事故。多机抬吊应根据起吊速度采用不同的调整方法。起吊速度相差不大，可从调整油门大小来调整速度；起吊速度相差较大，可用多穿钢丝绳的办法减速；抬吊时，应将起重机发动片刻后再进行吊装；吊装时应统一信号，做到起步停车一致；可穿通每两台起重机的吊索，如产生起重速度不一致时，可通过滑轮组自行调整。

## 18 整体提升法安装

### 18.1 材料要求

**18.1.1** 空间结构及桁架整体提升常采用计算机控制液压同步提升技术，计算机控制液压同步提升系统由钢绞线及提升油缸集群（承重部件）、液压泵站（驱动部件）、传感检测及计算机控制（控制部件）和远程监视系统等几个部分组成。传感检测主要用来获得提升油缸的位置信息、载荷信息和整个被提升结构空中姿态信息，并将这些信息实时传输至主控计算机，反映油缸的位置情况、上下锚具的松紧情况，进而进行调整。

**18.1.2** 钢绞线及提升油缸是系统的承重部件，用来承受被提升结构的重量。其抗拉强度、几何尺寸和表面质量都需到严格保证。

**18.1.3** 提升油缸为穿芯式结构，每台提升油缸均在厂内进行严格的试验，试验主要包括：功能性试验和耐久性试验。

**18.1.4** 压泵站是提升系统的动力驱动部分，它的性能及可靠性对整个提升系统稳定可靠工作影响最大。在液压系统中，采用比例阀控制油缸压力，可以有效地提高整个系统的同步调节性能。

### 18.4 施工工艺

**18.4.2** 提升受力点分析计算是为了达到同步提升的目的，首先进行结构整体提升计算分析，分析每个提升点的受力，对千斤顶和油泵进行合理的布置，同时在提升过程中，通过高精度的测量监控随时进行计算机整体联动调整。

**18.4.9** 钢绞线导向架用于提升过程中钢绞线的疏导，防止钢绞线缠绕。

4 钢绞线绕向有左旋、右旋两种，提升器中的钢绞线使用时需左旋、右旋各一半。

6 传感器与控制系统的连接时需注意上、下锚具传感器是有区别的。

**18.4.11** 整体提升施工过程中，影响构件提升速度的因素主要有液压油管的长度及泵站的配置数量。

9 卸载与提升设备拆除卸载过程中会出现载荷转移现象，即卸载速度较快的点将载荷转移到卸载速度较慢的点上，以至个别点超载。因此，需调整泵站频率，放慢下降速度，密切监控计算机控制系统中的压力和位移值。某些吊点载荷超过卸载前载荷的 10%，或者吊点位移不同步达到 10mm，则立即停止其它点卸载，而单独卸载这些异常点，如此往复，直至钢绞线彻底松弛。

**18.4.12** 液压同步提升施工技术采用传感检测和计算机集中控制，通过数据反馈和控制指令传递，可实现同步动作、负载均衡、姿态矫正、应力控制、操作闭锁、过程显示和故障报警等多种功能。操作人员可在中央控制室通过液压同步计算机控制系统人机界面进行液压顶推过程及相关数据的观察和控制指令的发布。通过计算机人机界面的操作，可实现自动控制、顺控（单行程动作）、手动控制以及单台提升器的点动操作，从而达到钢桁架整体提升安装工艺中所需要的同步位移、安装位移调整、单点微调等特殊要求。

## 21 膜结构制作与安装

### 21.1 材料要求

**21.1.1** 常用膜材有 G 类：在玻璃纤维织物基材表面涂覆聚合物连续层的涂层织物；P 类：在聚酯纤维织物基材表面涂覆聚合物连续层并附加面层的涂层织物；E 类：由乙烯和四氟乙烯共聚物制成的 ETFE 薄膜。

**21.1.9** 进行透光率分析，可以避免同一膜单元中透光率出现明显差异的情况。

### 21.2 主要机具

**21.2.1** 膜材需采用专业裁剪设备进行膜片裁剪。膜单元车间热合常采用专业热合设备，G 类膜材、P 类膜材、E 类膜材须采用不同的热合设备。G 类、P 类膜材的现场热合可采用便携式膜材热合设备。

千斤顶可用于索膜结构中钢索的张拉，也可用于顶升立柱来给膜结构体系施加预应力。吊车、倒链、滑轮组、卷扬机、缆绳等工机具可用于膜单元（含附属结构）的吊装。叉车可用于车间装卸膜材或膜成品。胎架、高空车、倒链、张紧器、临时工装可在膜单元的张拉过程中使用。

**21.2.3** 钢索测力计可用于检测钢索预应力。膜应力测试仪可用于检测膜面应力。气承式膜结构应使用专业充气系统。膜材进场的外观检测采用专业膜材检验设备进行。专业双轴拉力试验设备进行膜材的抗拉强度试验。

### 21.4 施工工艺

**21.4.2** 采用专业膜材检验设备进行膜材进厂外观检测，采用专业双轴拉力试验设备进行膜材的抗拉强度试验。应采用专业裁剪设备进行膜片裁剪。

膜单元车间热合应采用专业热合设备。G 类膜材、P 类膜材、E 类膜材应采用不同的热合设备。

G 类、P 类膜材的现场热合可采用便携式膜材热合设备。

## 22 钢结构防腐涂装

### 22.1 材料要求

**22.1.2** 建筑钢结构工程防腐蚀材料有油性酚醛涂料、醇酸涂料、高氯化聚乙烯涂料、氯化橡胶涂料、氯磺化聚乙烯涂料、环氧树脂涂料（含水性）、聚氨酯涂料（含水性）、无机富锌涂料（含水性）、过氯乙烯涂料等。

## 24 金属围护结构安装

### 24.3 作业条件

**24.3.12** 通常建筑周围均设有坐标原点，因此需要对周围原始坐标点进行复验，闭合无误后进行围护系统的施工放线。

### 24.4 施工工艺

**24.4.17** 墙面门窗及洞口收边是最难处理的收边，也是最容易渗漏，最影响美观的地方。所以安装时应严格按照施工图节点，打胶的地方应饱满，绝不能偷工减料。

**24.4.18** 直臂车施工安装条件及特点：机动灵活，能进行各种工序的施工，效率高；能克服井字挂梯无处悬挂的施工局限；能克服吊篮在屋面形成条件有集中作业面情况下的局限。

**24.4.19** 桁架井字梯施工特点：能克服应有平整场地才能作业的局限；能克服吊篮在屋面形成条件有集中作业面情况下的局限；可进行上、中、下的分段施工，交叉作业性强，克服其他工序限制所带来的不能施工的局面。

**24.4.20** 可移动踏板施工法（缩短工期的抢工技术方案）安装条件及特点：

- 1 几乎不受场地条件限制，机动灵活。
- 2 能克服直臂车无法站位的条件局限。
- 3 能克服挂梯无处悬挂的条件局限。
- 4 能克服吊篮在屋面形成条件有集中作业面情况下的局限。
- 5 极端作业条件下的备选方案，以应对现场复杂的作业条件
- 6 安装效率高，能提高 30% 的施工效率，缩短工期。

**24.4.21** 关于夹芯板垂直提升方法，采用吊车进行提升安装墙面板的优缺点为：

- 1 优点：安装效率高，
- 2 缺点：对周围场地要求高，占用厂房周边有限道路空间。

采用用卷扬机配合抱杆提升安装墙面板的优缺点为：

- 1 优点：不受场地限制；
- 2 缺点：提升速度慢，效率低。

在现场实际施工中，本项目由于各专业施工交叉密集，由于受交叉作业的限制，尤其是与室外工程交叉，厂房周边道路拥挤，施工人员多及施工机械数量大，给通路通行及安装施工均造成一定的难度，如果现场不具备使用吊车的情况下，可利用卷扬机配合抱杆的方式来实现檩条与墙板的安装。

### 24.6 成品保护

**24.6.1** 成品、半成品保护的重要性施工过程中，由于高密度的交叉作业及个别包商的成品保护意识不够，经常会对已安装的墙板造成一定的损坏，每个项目都应最后更换一批新墙板，造成一定的经济损失。因此应做好成品保护工作，是在施工过程中应对已完工分项进行保护，否则一旦造成损坏，将会增加修复工作，造成工、料浪费、工期拖延及经济损失。因此成品保护是施工管理重要组织部分，是保证施工生产顺利进行的主要环节，因此进场后，根据不同的施工阶段，将制定切实可行的成品保护实施细则和成品保护方案，并报业主、监理审批认可后严格实施。