

# 超高层钢结构施工安装工法

王诚瑛

(中国建筑第三工程局)

[中图分类号]: TU974

## 一、概述

高层钢结构建筑的发展已有一个世纪,美国是高层建筑的发源地。目前高度在 100m 以上的超高建筑已遍布 35 个国家之中,大部为钢结构,钢结构柱和梁截面大都为钢板焊接,形式为工字形和箱形。钢板最厚达 150mm(如美国芝加哥的汉考克大厦)。我国超高层钢结构建筑是 80 年代才发展起来的。中国建筑第三工程局在我国首次总承包建超高层钢结构工程,并形成了我国第一个超高层钢结构的施工工法。

## 二、特点、内容和适用范围

(一)钢构件长、重,且构件均在工厂预制。根据现场进度需要进行运输吊装和立体交叉作业,施工难度大,必须严密组织施工安装。

(二)需严格控制焊接质量,采用先进的焊接工艺。

(三)工人经过严格培训,必须获上岗证书才能上岗。

(四)该工法包括:地脚螺栓预埋工艺;高层钢结,构安装工艺;超厚钢板焊接工艺;高强螺栓连接工艺;压型钢板及栓钉焊接工艺;焊缝超声波探伤;高层钢结构测量校正工艺;焊接对高强螺栓预拉力影响和影响高强螺栓扭距系数若干因素的试验研究;工程质量和安全生产采取全面质量管理。

(五)该工法适用于高层、超高层钢结构建筑和构筑物。

## 三、钢结构安装技术

### (一)地脚螺栓安装工艺

浇承台砼垫层后,把柱的轴线全部放线在垫层上,全部闭合,保证以后的安装精度。其工艺见图 1。应用此工艺,浇好承台砼后,地脚螺栓组的中心与柱轴线最大误差为 5~7mm,

使钢柱底板安装很方便，全部孔眼未经修理就顺利就位。

## (二) 安装顺序

按主楼平面形状分区段绘制吊装图，吊装分区先后次序为：从中央向四周扩展，先柱后梁、先主梁后次梁吊装，使每日完成的工作量可形成一个空间构架，以提高抗风稳定性和安全性，有利于吊装精度的控制，减小积累误差。

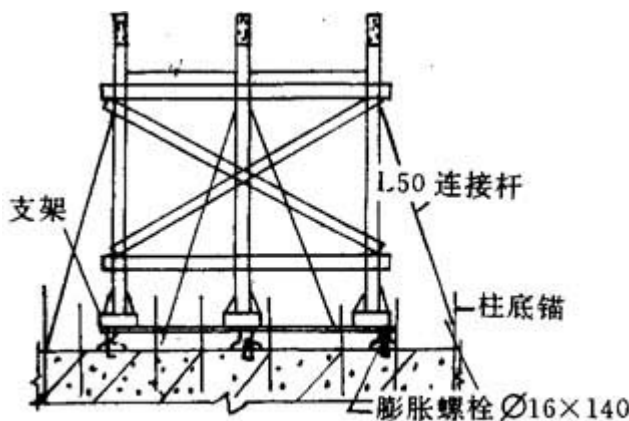


图 1 浇砼前地脚螺栓组的固定情况

## (三) 吊装技术

1. 吊装工序与其工序分层交叉同时进行。

2. 钢柱分段根据结构体系、结构平面形状、塔吊的性能、塔吊至各钢柱的距离、道路及施工堆放场地等等情况，尽量采用加长柱的原则。每节钢柱绝大部分都相当于两个楼层的高度，通常在 6.6~7.8m 之间，大大减少现场连接数量及焊接量，从而提高安装速度和精度，降低工程成本，提高安全可靠。

3. 吊装过程

(1) 把每层每个节点的高强螺栓的规格、数量及钢梁的编号、重量、规格等等统编成一一览表。

(2) 根据吊装进度，钢构件运输进场，卸车堆放、编号。

(3) 上班前对吊装班组交待吊装顺序，特殊构件注意事项，与其它工种的搭接配合，高空与地面统一指挥，柱、梁起吊前把所有节点用细钢丝刷垂直于受力方向进行除锈，连接板也同样处理，保证接触面的清洁。

为了减少高空作业不安全因素，对外排柱与挑梁在地面进行拼装，然后再起吊。

吊装操作顺序：钢柱吊装—测量校正—钢梁吊装—测量—螺栓紧固—焊接。按层次逐层往上吊装。其它工序可在刚安装完毕的楼层内进行施工。并且也为焊接、防火工程、设备安装等工序提供了防雨能力。

#### 4. 钢结构安装精度控制

钢结构安装精度要求较高, 施工中主要控制“安装垂直倾斜误差”和“安装水平标高误差”。对每根钢柱都要进行钢柱吊装后的测量校正—钢梁连接完后的钢柱进行焊前测量校正→钢柱、钢梁高强螺栓扭紧、焊接后的测量—这样形成把轴线向上翻引逐层传递轴线的循环过程, 并将重要钢柱作标准柱, 每六层从钢柱底部向上与焊后钢柱测定的中心线进行校核, 再用激光铅直仪互为校核进行修正。同时, 在测量上考虑了焊接后柱子向内倾斜的倾向而留有余量。这一措施很有效。

#### (四) 钢结构连接

柱与柱、柱与梁、梁与梁、梁与剪力墙的连接采用高强螺栓、焊接和螺栓与焊接混合三种方法。

1. 高强螺栓连接。除柱与部分框架梁采用焊接外, 其余梁、柱节点均采用摩擦型高强螺栓连接。拧紧方法为控制扭矩法, 穿入螺栓后并经垂直度测量即进行初拧, 初拧扭矩值不得小于终拧扭矩值的  $300\text{N} \cdot \text{m}$ 。紧固顺序与吊装顺序原则相同, 先中心后外圈, 在节点上的紧固顺序见图 2, 用两把扳手同时进行

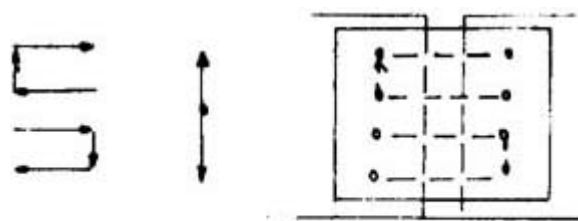


图 2 高强螺栓的紧固顺序

扭矩型高强螺栓终拧采用扭矩型电动扳手, 对电动扳手输出的扭矩进行标定检查, 合格后才准施拧。

扭剪型高强螺栓终拧采用扭剪型电动扳手, 需不定期对电动扳手终拧扭矩值进行检查。

终拧扭矩值根据 GBJ205—83 钢结构工程及验收规范第 4、5、10 条规定计算, 式中扭矩系数  $K$  值应由制造厂方给定。

#### 2. 焊接工艺

超厚钢板(最厚达  $130\text{mm}$ )  $\text{CO}_2$  气体保护半自动焊接工艺保证了钢结构安装质量。焊接时采用对称焊接和增加反变形以及预留变形, 尽可能减小变形和焊接残余应力, 原则是采用了结构对称, 节点对称、全方位对称焊接。

为防止裂纹的产生, 针对钢板厚度、气候、风力等不同情况采取焊接预热、后热和保持

施焊中的层间温度等措施。

### 3. 焊接实例

(1) 箱形柱、工字柱焊接见图 3, 采用全熔透连接。

(2) 箱形梁焊接见图 4, 先焊接下翼缘和侧立缝, 然后进行 UT 检查, 上翼缘两处同时对称焊, 最后焊完侧面顶部和上翼缘, 进行第二次 UT 检查。

根部均先用手工电弧焊打底 4~5 层, 然后再用 C02 焊, 预热温度两条缝必须同时保证规定的温度。

(3) 柱与梁的焊接见图 5。此处是螺栓与焊接混合连接。

### 4. 焊缝超声波探伤

根据设计要求: 所有坡口和熔透焊缝均应全部用超声波检查, 同时对母材坡口两侧 150~300mm 范围进行层检查。

按照美国焊接协会 AwsD1. 1—(84) 中超声波探伤标准, 我们采用 A 型脉冲反射式超声波探伤, 以单斜头接触法为主进行探伤, 其探伤方法:

(1) 对厚板焊缝、探头的移动区  $P \leq TK+50\text{mm}$  或  $P \leq TtgB+50\text{mm}$  (式中 T 为板厚)。

(2) 对厚板焊缝最好从 A 面和 B 面两侧进行探伤, 如因条件限制可以从一面或一侧, 一面或两侧用半声程及全声程探伤。

(3) 对于 T 形接头焊缝从 A 面和 B 面进行探伤, 必要时用直探头从 C 面进行探伤。

(4) 为使超声波全面检查超厚板 ( $\delta \geq 60\text{mm}$ ) 焊缝, 分别采用  $45^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $75^\circ$  探头探伤。

(5) 所有焊缝最好用半声程进行探伤, 但在客观条件限制下, 不能磨平焊缝时采用全声程进行探伤。

5. 螺栓与焊接混合连接, 在上下翼缘处用焊接连接, 起到传递弯矩作用, 在腹板处采用高强螺栓连接, 起到传递剪力作用。

### (五) 压型钢板安装和栓钉焊接工艺

该工程楼板采用压型钢板—钢筋砼复合楼板, 压型钢板既作为结构构件又作为模板使用。

压型钢板根据结构平面的需要铺设, 在现场依照柱子形状斜切, 柱周边的压型钢板的悬挑板需加设支托处理。

连接: 压型钢板在钢梁上支座的最长度为 50mm, 采用 30mm 长贴角焊或  $\Phi 19$  的熔焊连接; 板与板用压紧器咬口扣紧; 其距离为 300~500mm。用熔焊机在钢梁上焊设抗剪栓钉 SC19×140mm (直径×长度) 进行组合。

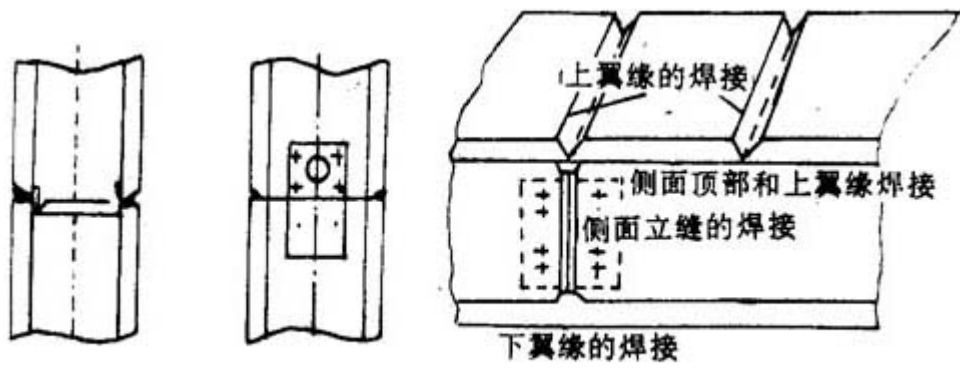


图 3 箱形柱焊接

图 4 箱形梁焊接

焊前按规定取试样，经拉力试验(10 个样件)和弯曲试验(20 个样件)合格后，方能现场施焊。

铺设压型钢板及焊接抗剪栓钉经验收合格后浇灌砼，砼层厚平均为 100—120mm，施工采取随捣固随抹光，砼初凝后用真空吸水法，提高砼的早期强度，按国标 GBJ204—83 施工验收规范进行验收。

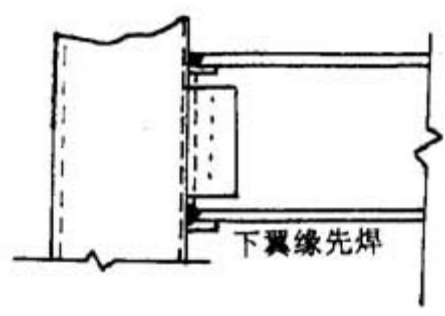


图 5 柱与梁焊接

四、主要机械设备(见表)

主要机械设备表						
名 称	牌 名	型 号	功 能	数量	产地	
塔 吊	里勃海尔 LIEBHERR	500HC-S	640t·m	1	西德	
塔 吊	波 坦 POTAIN		140t·m	1	法国	
外用电梯	托 马 TUMAC	BP3000 HD-15	双笼 H=200m	1	英国	
砼输送泵	斯维茵 SCHWING		30m³/h H=250m	1	西德	
履 带 吊			50t	1	杭州	
汽 车 吊			25t	1	日本	
拖 车	尼桑		40t	1	日本	
汽 车	尼桑		14.5t	1	日本	
搅 拌 站	田中		30m³/h	1	日本	
CO <sub>2</sub> 半自 自动焊机				20	日本	
栓钉熔焊机		KSM		3	日本	

五、劳动组织

钢结构安装系立体交叉作业，因此各工种必须密切配合，运输工、吊装工、电工、测量

工、安全员等根据现场工作量的需要安排。钢结构安装中电焊工是主要工种,梁和柱均双向焊,焊工4人(含预热清渣2人),每昼夜两个班共8人。结构也采用对称焊,分6个组共48人,测量工6人,探伤工4人。

## 六、工程质量与安全生产

### 1. 工程质量保证措施

重视施工准备工作,依据施工组织设计,分别编写“钢结构安装施工方案”、“钢结构安装焊接施工要领书”、“焊接施工方案细则”、“测量方案”、“超声波探伤方案”及“安全生产规程”等,并在施工中开展全面质量管理,各工序的施工及验收都按要领书的规定执行。

2. 在组织施工中树立安全当先的思想,采取一系列有针对性的措施,确保整个工程无伤亡事故。

### 3. 工程质量验收

山垂直度偏差:按本工法施工柱子内偏 $24.5\text{mm}<76\text{mm}$ ,外偏 $15\text{mm}<50\text{mm}$ (规范允许偏差)。

(2) 高强螺栓紧固优良率90%,全部合格。

(3) 焊接:按美国《钢结构焊接规范》AWS规定,钢结构焊缝A、B、C、D四个等级,D级为最高。

(4) 压型钢板安装全部质量优良。

4. 设计施工规范及有关标准(略)。

## 七、经济技术指标分析

高层钢结构工程采用先进的成套施工技术,网络计划和QC法控制质量,使工期、质量均可达到先进水平。

$\text{CO}_2$ 气体半自动保护焊比手弧焊工效提高4.5倍,焊丝耗用比焊条节约用量5%左右。

主体结构工程成本降低率达5.5%比预测的经济效益可提高4%。

工程超厚钢板焊接难度大,采用先进、合理的焊接工艺,使结构焊接质量94%达到美国焊接规范中最高D级标准,其余可达100%合格。

## 八、工程实例

该工法在深圳发展中心和上海国际贸易中心大厦得到实际运用,获得了非常好的社会效益和经济效益,仅就深圳发展中心大厦为例:

深圳发展中心是一座兼有办公、宾馆的综合性建筑,由美国和我国联合设计,由中国建

筑三局一公司总承建钢结构安装,日本分包钢构件加工,法国分包玻璃幕墙的安装。

该工程是我国建成的钢结构建筑中高度最高,为 165.30m,建筑面积 5120m<sup>2</sup>,共 43 层,地下一层,钢板厚度最厚  $\delta=130\text{mm}$ ,箱型柱最大截面  $1070\text{mm}\times 1070\text{mm}\times 130(\text{d})\text{mm}$ ,最大单柱长 19.5m,柱重 36.71t,箱型钢梁最大截面  $915\text{mm}\times 915\text{mm}\times 127(\text{d})\text{mm}$ 。

该工程于 1988 年 5 月 8 日经建设部组织钢结构专家鉴定:一致认为深圳发展中心大厦超高层钢结构的安装施工技术达到了国际先进水平,为我国高层钢结构工程的发展作出了突出贡献,其所积累的数据可供制定高层钢结构施工规程时参考。

该工程 1988 年获中建总公司科技进步一等奖,1989 年获国家科技进步三等奖。

1992 年第 6 期 (第 21 卷 总第 108 期)