



项目11 结构安装工程

项目概述



结构安装工程是指利用各种类型的起重机械将预先在工厂或施工现场加工制作的结构构件，严格按照设计图纸的要求在施工现场组装，以构成一幢完整的建筑物或构筑物的整个施工过程。

根据构件材质的不同，结构安装工程分为钢筋混凝土排架结构安装工程和钢结构安装工程。在结构安装工程实施前，应拟定工程实施方案，根据建(构)筑物的平面尺寸、跨度、结构特点、构件类型、重量、安装高度及施工现场具体条件，结合现有机械设备情况合理选择起重机械，并由起重机械设备的性能确定构件安装工艺、安装方法、起重机械开行路线、构件现场预制平面布置及构件的就位安装平面布置，以实现在确保工程质量、安全施工的基础上，降低工程成本、缩短工期等目标。



目录

11.1 索具设备的选择与计算

11.2 起重机械的选择

11.3 钢筋混凝土排架结构单层 工业厂房结构安装方案

11.4 钢结构单层工业厂房结构 安装方案



目录

11.5 质量标准与安全技术



本项目以安徽省某矿机制造有限公司新建车间工程为例，重点介绍结构安装工程中索具设备的选用、起重机械的选型、钢筋混凝土排架结构和钢结构单层工业厂房结构安装方案的编制等知识。

为确保结构安装工程顺利进行，在工程施工准备阶段，应根据规范规定、工程特点及现场条件，对结构安装工程中采用的吊装索具设备、起重机械等进行设计计算和选择，并应编制相应的专项施工方案。



该工程由1#、2#两座车间组成，1#车间为钢筋混凝土单层高低跨排架结构，柱距6 m，高跨为18 m预应力拱形屋架，高跨设有预应力T形吊车梁，低跨为15 m薄腹屋面梁，1.5 m×6 m预应力大型屋面板，建筑面积约为1 800 m²；2#车间为钢结构厂房，跨度为17 m，长为42 m，建筑面积约为715 m²。本项目将在11.1、11.2中就厂房安装工程的通用知识进行介绍；在11.3、11.4中分别介绍钢筋混凝土排架结构单层工业厂房的结构安装和钢结构单层工业厂房的结构安装所需相应知识；在11.5中将讨论结构安装工程的质量标准和安全技术。

11.1

索具设备的选择与计算



11.1.1 钢丝绳的构造及种类、钢丝绳最大工作拉力验算



1. 钢丝绳的构造及种类

(1) 结构安装工程用钢丝绳是由六股钢丝和一股绳芯捻成(图11.1), 每股钢丝又由多根直径为0.4~4.0 mm, 抗拉强度为1 400 MPa、1 550 MPa、1 700 MPa、1 850 MPa或2 000 MPa的高强度钢丝捻成。钢丝绳按每股钢丝的根数常用的有: 6×19, 6×37, 8×37等。

(2) 钢丝绳按钢丝和钢丝股搓捻方向不同可分为顺捻绳和反捻绳两种(图11.2)。



11.1.1 钢丝绳的构造及种类、钢丝绳最大工作拉力验算

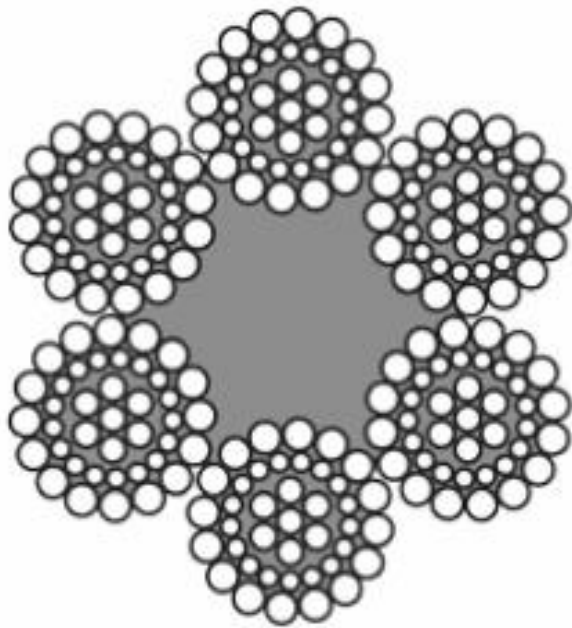


图 11.1 钢丝绳截面



(a) 顺捻绳



(b) 反捻绳

图 11.2 钢丝绳绕向

11.1.1 钢丝绳的构造及种类、钢丝绳最大工作拉力验算



2. 钢丝绳最大工作拉力验算

钢丝绳最大工作拉力采用以下公式进行验算。

(1) 钢丝绳破断拉力

钢丝绳的破断拉力与钢丝质量的好坏和捻绕结构有关，其近似计算公式为

$$F_g = A n \sigma_b = \pi d^2 n \sigma_b / 4$$

式中 F_g ——钢丝绳的破断拉力总和 (N) ；

A ——钢丝绳每根钢丝的截面积 (mm^2) ；

d ——钢丝绳每根钢丝的直径 (mm) ；

n ——钢丝绳中钢丝的总根数 ；

σ_b ——钢丝绳中每根钢丝的抗拉强度 (MPa) 。

11.1.1 钢丝绳的构造及种类、钢丝绳最大工作拉力验算



(2) 钢丝绳的允许最大工作拉力

钢丝绳的允许最大工作拉力应满足式(11.2)的要求：

$$F_g \leq \alpha F_{g0} / K$$

式中 $[F_g]$ ——钢丝绳允许最大工作拉力 (kN)；

α ——钢丝绳的破断拉力折算系数，按表11.1取用；

F_{g0} ——钢丝绳的钢丝破断拉力总和 (kN)；

K ——钢丝绳安全系数，按表11.2取用。

表 11.1 钢丝绳破断拉力换算系数 α

钢丝绳结构	α
$6 \times 19 + 1$	0.85
$6 \times 37 + 1$	0.82
$6 \times 61 + 1$	0.80

11.1.1 钢丝绳的构造及种类、钢丝绳最大工作拉力验算



【例11.1】本工程1#车间基础梁重为15 kN，拟用一根6×37型钢丝绳作捆绑吊索，钢丝绳直径为24 mm，钢丝公称抗拉强度为1 550 N / mm²，试进行钢丝绳最大工作拉力验算。

解:由钢丝绳手册可查知： $F_g=326.5$ kN；由表11.1可查知换算系数得： $\alpha=0.82$ ；再由表11.2可确定安全系数K：取K=9。则允许最大工作拉力为：

$$\begin{aligned} [F_g] &= \alpha \cdot F_g / K \\ &= 0.82 \times 326.59 = 29.75 \text{ kN} > 15 \text{ kN} \end{aligned}$$

因此，选用该钢丝绳作捆绑吊索满足要求。

11.1.2 吊具的选择、滑轮组的计算



1. 吊具的选择

结构安装工程中常用的吊具有吊索、吊钩、卡扣、卡环、横吊梁等。

(1) 吊索

吊索 (lifting rope) 也称千斤绳, 是一种用钢丝绳 (6×37或6×61等) 制成的吊装索具, 主要用于绑扎构件以便起吊。根据形式不同可分为环状吊索和开口吊索 (图11.3)。

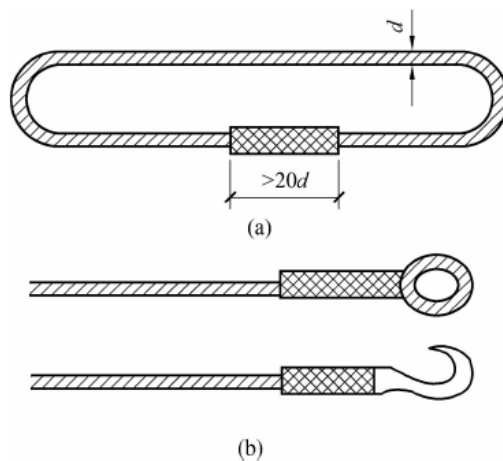


图 11.3 吊索

11.1.2吊具的选择、滑轮组的计算



两支吊索的拉力按下式计算 [图11.4 (a)] :

$$P=G2\sin \alpha$$

式中P——每根吊索的拉力 (kN) ;

G——吊装构件的重力 (kN) ;

α ——吊索与水平线的夹角。

四支吊索的拉力按下式计算 [图11.4(b)] :

$$P=G2(\sin \alpha+\sin \beta)$$

式中P——每根吊索的拉力 , kN ;

G——吊装构件的重力 , kN ;

α ——外吊索与水平线的夹角 ;

β ——内吊索与水平线的夹角。

11.1.2 吊具的选择、滑轮组的计算

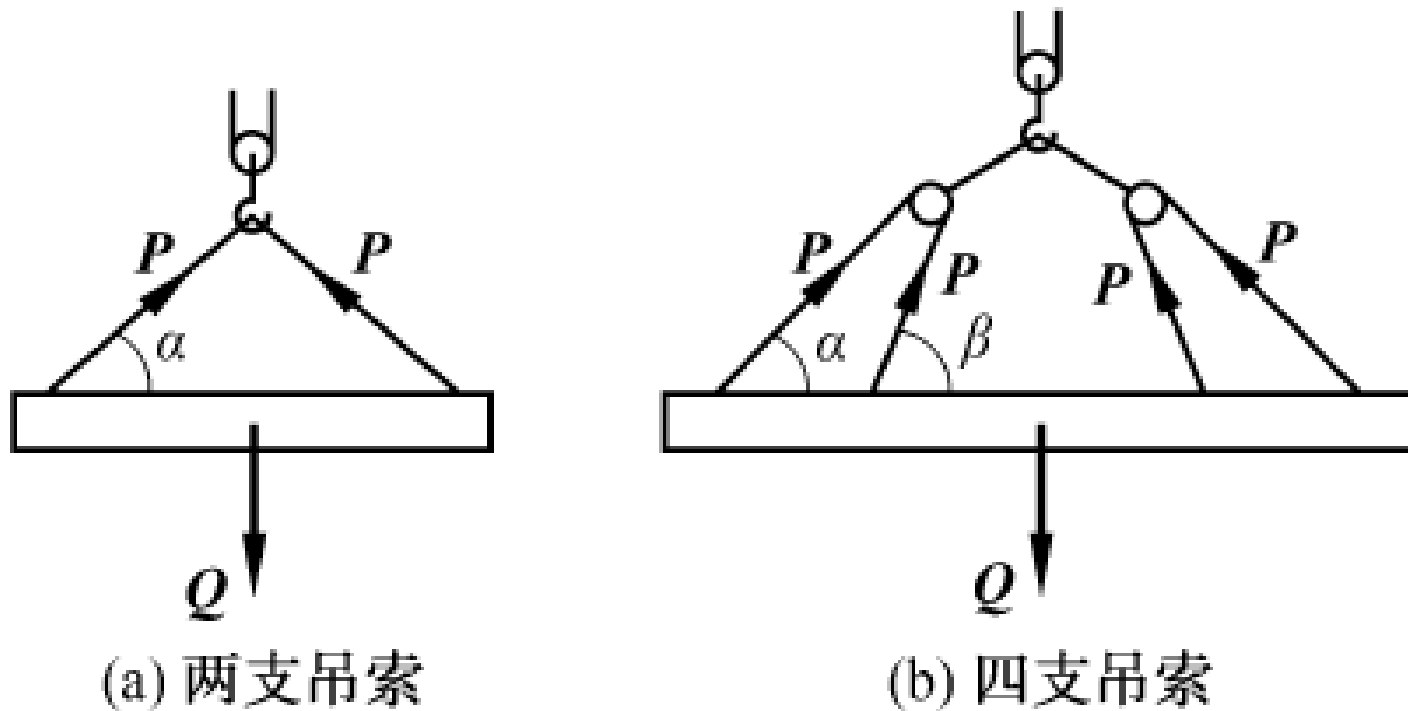


图 11.4 吊索拉力计算简图

11.1.2 吊具的选择、滑轮组的计算



(2) 吊钩

吊钩 (lifting hook) 有单钩和双钩两种类型 (图11.5)。单钩制造简单、使用方便, 但受力情况不好, 大多用在起重量为80 t以下的工作场合; 起重量大时常采用受力对称的双钩。

(3) 卡扣

卡扣 (grip holder) 亦称钢丝绳夹头, 主要用于固定钢丝绳端部, 根据其形式不同, 分为骑马式、压板式和拳握式三种, 其中骑马式卡扣最为常用 (图11.6)。选用卡扣时, 必须使U形的内侧净距等于钢丝绳的直径。

11.1.2 吊具的选择、滑轮组的计算



(a) 单钩



(b) 双钩

图 11.5 吊钩



(a) 直形卡环



(b) 马蹄形卡环

图 11.6 骑马式卡扣

11.1.2 吊具的选择、滑轮组的计算



(4) 卡环

卡环 (clasp) 亦称卸甲，主要用于吊索之间或吊索与构件吊环之间的连接，固定和扣紧吊索。卡环由弯环和横销两部分组成。弯环根据其形式不同分为直形和马蹄形两种 (图11.7) ；横销根据连接方式的不同分为螺栓式和活络式。活络式卡环的横销端头和弯环孔眼无螺纹，可以直接抽出，以避免人员高空作业，常用于吊装柱子。

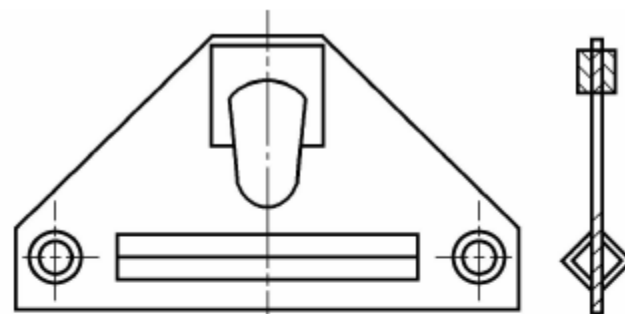
(5) 横吊梁

横吊梁 (cross hanging beam) 亦称铁扁担，常用于柱和屋架等构件的吊装，用以减小起重高度以及吊索对构件的横向压力。横吊梁的形式较多，常用的有钢板横吊梁和钢管横吊梁 (图11.8) 。

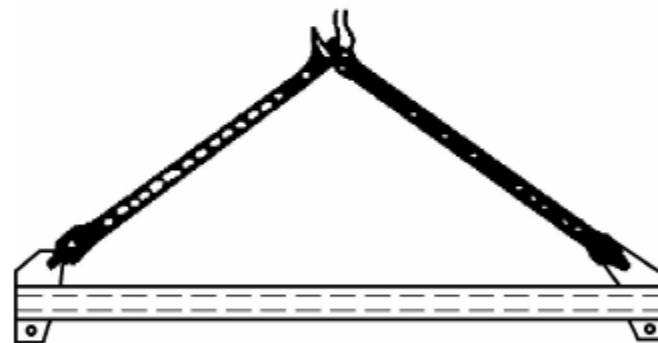
11.1.2 吊具的选择、滑轮组的计算



图 11.7 卡环



(a) 钢板式



(b) 钢管式

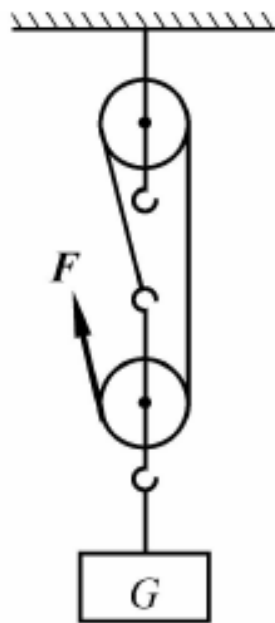
图 11.8 横吊梁

11.1.2吊具的选择、滑轮组的计算

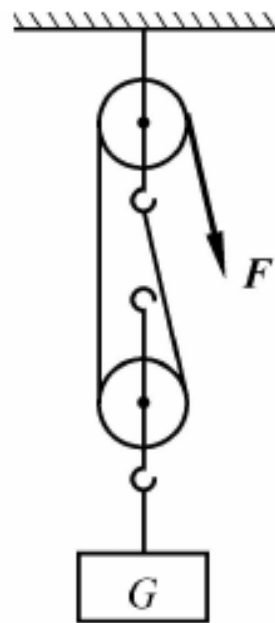


2. 滑轮组的计算

滑轮组 (ass
的绳索所组
作为单独的
作为起重机械
称为工作线数
多少, 主要理



(a) 动滑轮引出式滑轮组



(b) 定滑轮引出式滑轮组

及绕过它们
向。它既可
程吊装中以
的绳索根数
起重省力的

图 11.9 滑轮组

11.1.2 吊具的选择、滑轮组的计算



滑轮组引出绳拉力 F 可按下式计算，即

$$F=K \cdot G$$

式中 F ——滑轮组引出绳拉力；

G ——滑轮组起吊重物荷载；

K ——滑轮组省力系数。

当绳头从定滑轮引出时： $K=fn(f-1)/(fn-1)$

当绳头从动滑轮引出时： $K=fn-1(f-1)/(fn-1)$

式中 f ——单个滑轮组的阻力系数，滚动轴承 $f=1.02$ ，青铜轴套轴承 $f=1.04$ ，无衬轴套轴承 $f=1.06$ ；

n ——工作线数，若引出绳从定滑轮引出， $n=$ 定滑轮数+动滑轮数+1；若引出绳从动滑轮引出，则 $n=$ 定滑轮数+动滑轮数。

11.1.2 吊具的选择、滑轮组的计算



【例11.2】本工程1#车间B、C轴线钢筋混凝土排架柱重为145 kN，吊装施工过程中所用滑轮组为定滑轮引出式滑轮组，其滑轮组引出绳拉力为

(式中 $f=1.02$ ； $n=3$)：

$$F=K \cdot G=f^n(f-1) f^{n-1} \cdot G$$

$$=1.023 \times (1.02-1) 1.023-1 \times 145 \text{ kN}$$

$$=50.28 \text{ kN}$$

11.1.3卷扬机固定方法



卷扬机 (fairleader) 亦称绞车 (图11.10) , 它既可作为一种起重机械 , 又可用于拉伸机械。按照驱动方式可分为手动和电动两类。卷扬机在结构安装中是最常用的机械设备。

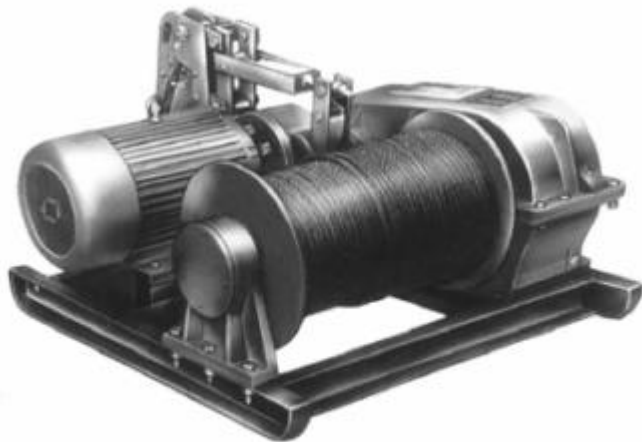


图 11.10 卷扬机

11.1.3 卷扬机固定方法



在建筑施工中的卷扬机多为电动卷扬机，它主要由电动机、卷筒、电磁制动器和减速机构等组成。卷扬机在使用时必须要有可靠的固定，以防止在工作中产生滑移或倾覆。根据卷扬机牵引力的大小，其固定方法有螺栓锚固法、横木锚固法、立桩锚固法和压重锚固法四种，如图11.11所示。本工程安装中，卷扬机固定采用螺栓锚固法。

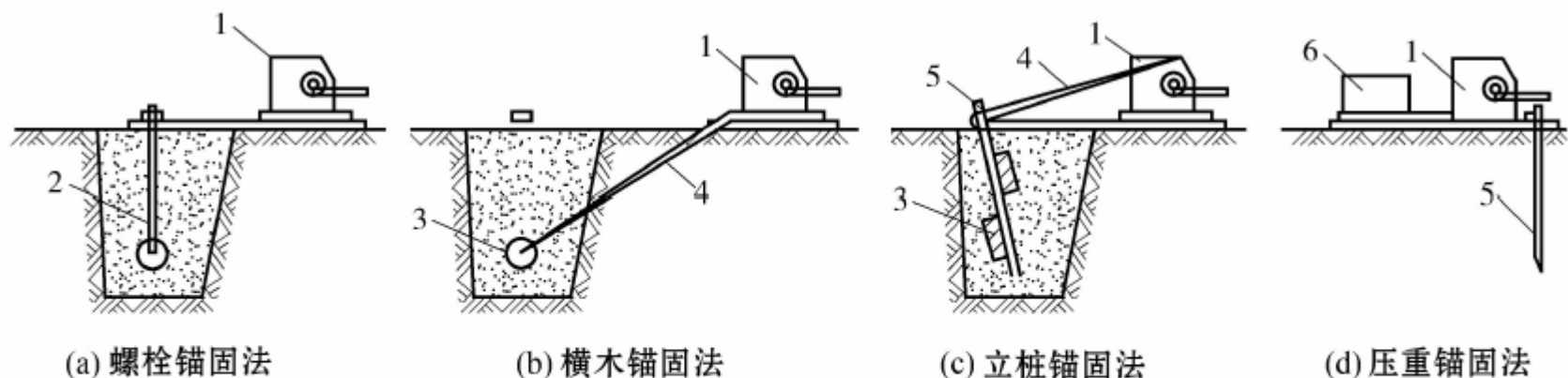


图 11.11 卷扬机的固定方法

1—卷扬机；2—地脚螺栓；3—横木；4—拉索；5—木桩；6—压重

11.2

起重机械的选择



11.2.1 起重机械（crane）的种类及特点



1. 桅杆式起重机

桅杆（mast）亦称拔杆或抱杆，与滑轮组、卷扬机相配合构成桅杆式起重机（mast crane），桅杆自重和起重能力的比例一般为1：4~1：6，具有制作简便、安装和拆除方便、起重量较大、对现场适应性较强的特点，因而得到广泛应用。

在建筑工程中常用的桅杆式起重机有独脚拔杆、人字拔杆、悬臂拔杆和牵缆式拔杆起重机，如图11.12所示。



11.2.1 起重机械 (crane) 的种类及特点

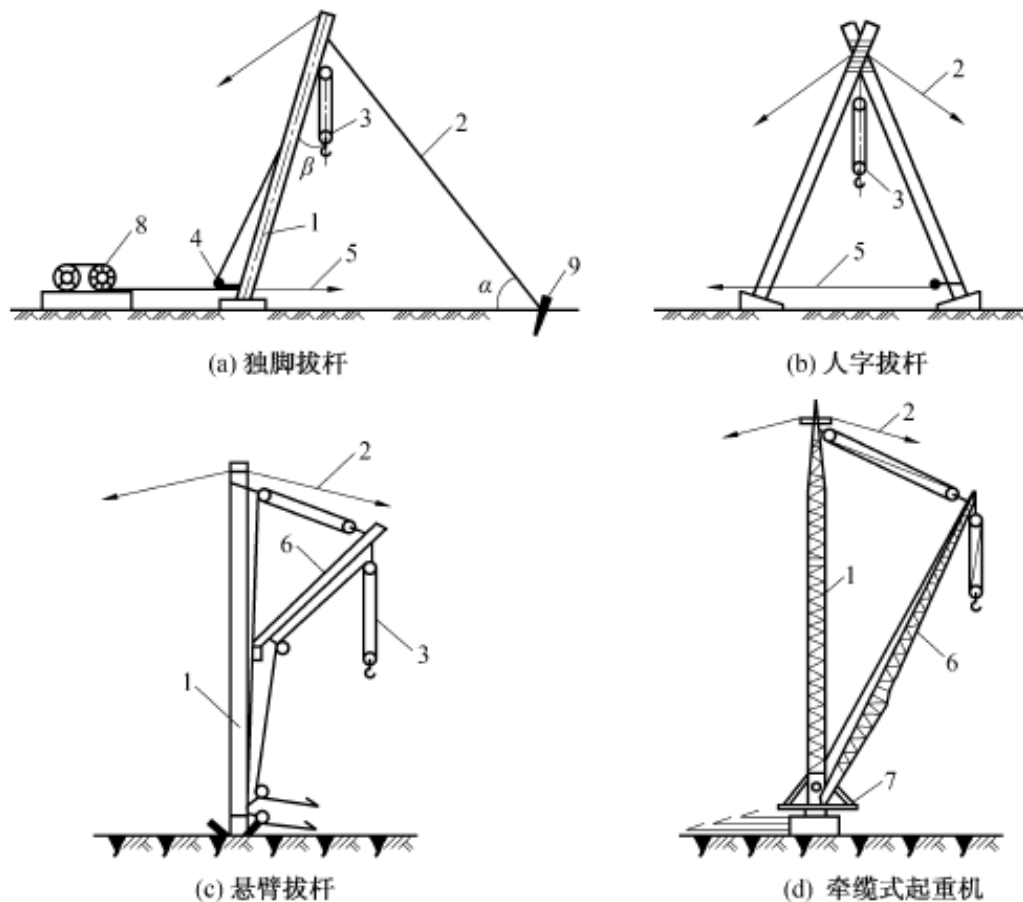


图 11.12 桅杆式起重机

1—拔杆;2—缆风绳;3—起重滑轮组;4—导向装置;5—拉索;6—起重臂;7—回转盘;8—卷扬机;9—锚碇

11.2.1起重机械（crane）的种类及特点



（1）独脚拔杆

独脚拔杆（single mast crane）由拔杆、起重滑轮机组、卷扬机、缆风绳和锚碇等组成，如图11.12（a）所示。根据独脚拔杆的制作材料不同可分为木独脚拔杆、钢管独脚拔杆和金属格构式拔杆等。

独脚拔杆在使用时应保持一定的倾角，但不宜大于 10° ，以便在吊装时，构件不致碰撞拔杆。拔杆的稳定性主要依靠揽风绳，根据起重量、起重高度和绳索强度，揽风绳一般设置4~10根。揽风绳与地面的夹角一般为 $30^\circ\sim 45^\circ$ ，绳的一端固定在桅杆顶端，另一端固定在锚碇上。

11.2.1起重机械（crane）的种类及特点



（2）人字拔杆

人字拔杆（herringbone mast crane）一般是由两根圆木或钢管以钢丝绳绑扎或铁件铰接而成，拔杆设有揽风绳、滑轮组及导向滑轮等。在人字拔杆的顶部交叉处悬挂滑轮组。拔杆底端两脚的距离约为高度 $1/3 \sim 1/2$ ，并设有拉杆(或拉索)以平衡拔杆本身的水平推力。其中一根拔杆的底部装设一导向滑轮组，起重索通过它连接到卷扬机。揽风绳的数量应根据拔杆的重量和起重高度来决定，一般不少于5根，如图11.12（b）所示；人字拔杆在垂直方向略有倾斜，但其倾斜度不宜超过 $1/10$ ，并在前、后各用两个揽风绳拉结。

人字拔杆具有侧向稳定性较好，揽风绳较少的优点；但其起吊构件活动范围小的缺点限制了其在工程中的应用，因此一般仅用于安装重型柱或其他重型构件。钢管人字拔杆起重量可达200 kN。

11.2.1起重机械（crane）的种类及特点



（3）悬臂拔杆

悬臂拔杆（cantilever mast crane）是在独脚拔杆的中部或2/3高度处装设一根起重臂制作而成，如图11.12（c）所示。悬臂拔杆起重臂可以回转和起伏，可以固定在某一部位，也可以根据需要沿杆升降。悬臂拔杆的特点是可以获得较大的起重高度和相应的起重半径，起重臂还能左右摆动 $120^{\circ}\sim 270^{\circ}$ ，宜用于吊装高度较大的轻型构件。

11.2.1 起重机械 (crane) 的种类及特点



(4) 牵缆式桅杆起重机

牵缆式桅杆起重机 (trail\behind crane) 是在独脚拔杆下端装设一根可以回转和起伏的起重臂制作而成，如图11.12 (d) 所示。牵缆式桅杆起重机的起重臂可以起伏，机身可回转 360° ，可以在起重半径范围内，把构件吊到任何位置。当起重量在50 kN以内，起重高度不超过25 m时，牵缆式桅杆起重机多用无缝钢管制成，用于一般工业厂房的结构吊装；大型牵缆式桅杆起重机的桅杆和起重臂是用角钢组成的格构式截面，起重量可达60 kN，桅杆高度可达80 m，常用于重型工业厂房的吊装或设备安装。牵缆式桅杆起重机需设置较多的揽风绳，移动不便，常适用于构件多且集中的建筑物结构安装工程。

11.2.1起重机械（crane）的种类及特点

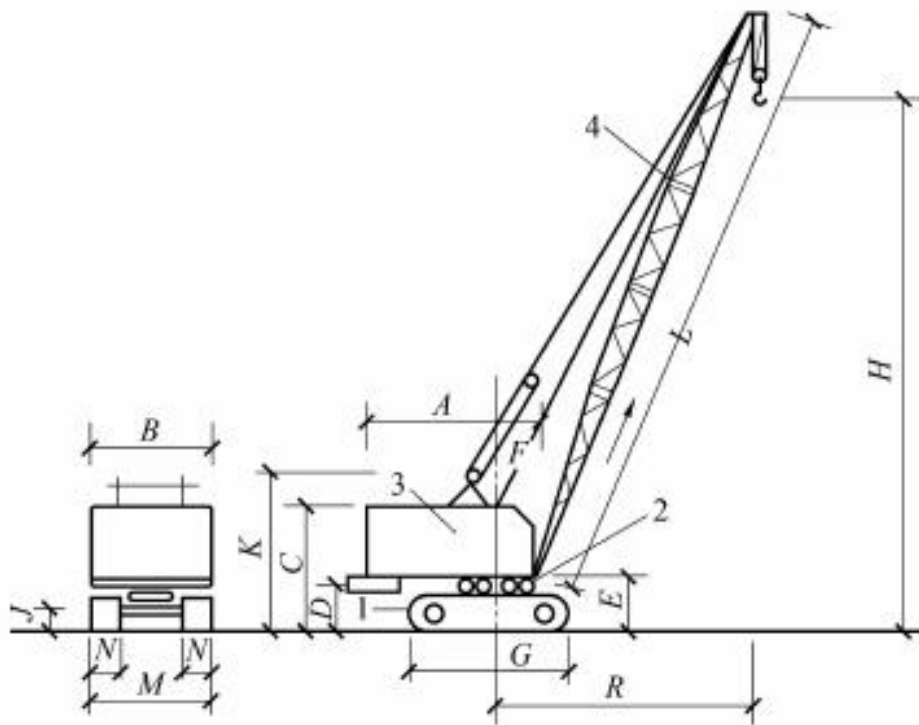


2. 自行式起重机

(1) 履带式起重机

履带式起重机（crawler crane）是在行走的履带底盘上装设起重装置的起重机械，它是由动力装置、传动机构、行走机构（履带）、工作机构（起重杆、滑轮组、卷扬机）及平衡重等组成，如图11.13所示。其操作灵活，使用方便，在一般平整坚实的场地上可以荷载行驶和作业，起重吊装时不需设支腿。但履带式起重机的稳定性较差，使用时必须严格遵守操作规程，一般不宜超负荷吊装，如需超负荷或接长起重臂时，必须进行稳定性验算。同时履带式起重机行走速度慢，且对路面有破坏性。目前，它是装配式结构房屋施工，尤其是单层工业厂房结构安装工程中广泛使用的起重机械之一。

11.2.1起重机械（crane）的种类及特点



(a) 履带式起重机外形图



(b) 履带式起重机实体图

图 11.13 履带式起重机

1—行走机构；2—回转机构；3—机身；4—起重臂；A~G、J、K、M、N—外形尺寸；L—臂长；H—起重高度；R—起重半径

11.2.1 起重机械（crane）的种类及特点



履带式起重机的主要技术参数有三个，分别为起重量 Q 、起重高度 H 和回转半径 R 。其中，起重量 Q 是指起重机在一定起重半径范围内安全工作所允许的最大起重物的质量；起重高度 H 是指起重吊钩的中心至停机面的垂直距离；起重半径 R 是指起重机回转轴线至吊钩中垂线的水平距离。三者之间存在相互制约的关系，履带式起重机三个主要参数之间的关系可用工作性能表来表示，也可用起重机工作曲线来表示，在起重机手册中均可查阅。表11.3为履带式起重机性能表；图11.14为W1—50、W1—100型履带式起重机的性能曲线。

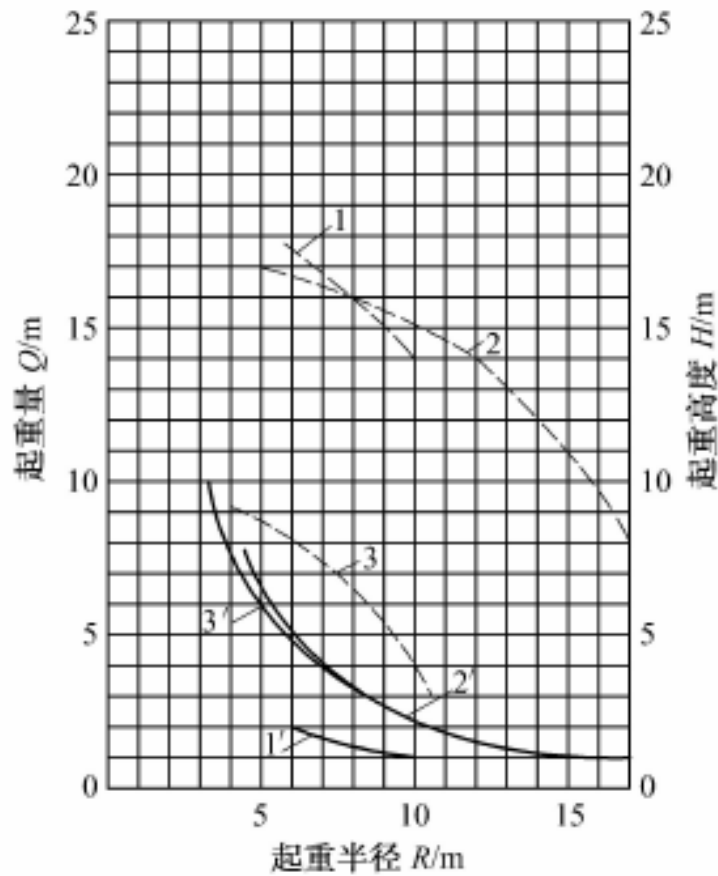
11.2.1 起重机械 (crane) 的种类及特点



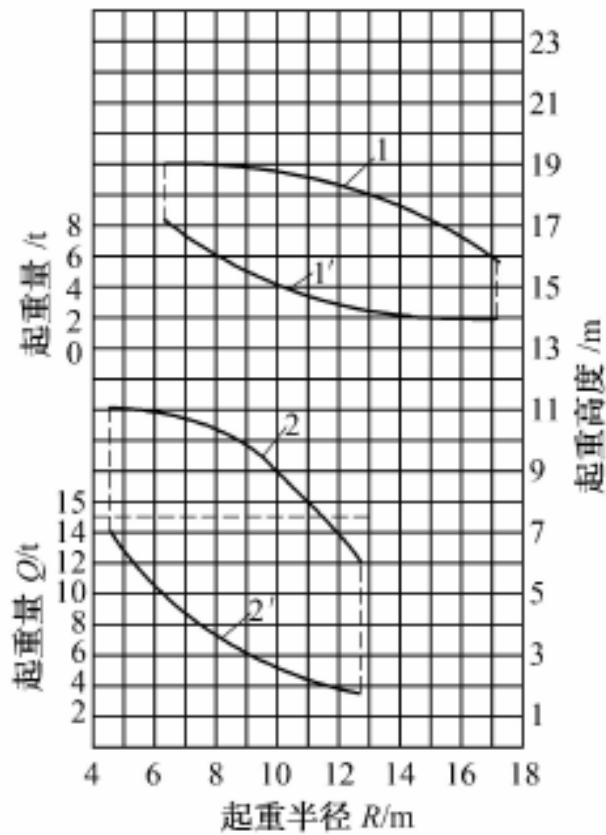
表 11.3 履带式起重机性能表

参数		单位	型号							
			W ₁ —50			W ₁ —100		W ₁ —200		
起重臂长度		m	10	18	18 带鸟嘴	13	23	15	30	40
最大工作幅度		m	10.0	17.0	10.0	12.5	17.0	15.5	22.5	30.0
最小工作幅度		m	3.7	4.5	6.0	4.23	6.5	4.5	8.0	10.0
起重重量	最小工作幅度时	t	10.0	7.5	2.0	15.0	8.0	50.0	20.0	8.0
	最大工作幅度时	t	2.6	1.0	1.0	3.5	1.7	8.2	4.3	1.5
起重高度	最小工作幅度时	m	9.2	17.2	17.2	11.0	19.0	12.0	26.8	36.0
	最大工作幅度时	m	3.7	7.6	14.0	5.8	16.0	3.0	19.0	25.0

11.2.1 起重机械 (crane) 的种类及特点



(a) W₁-50型



(b) W₁-100型

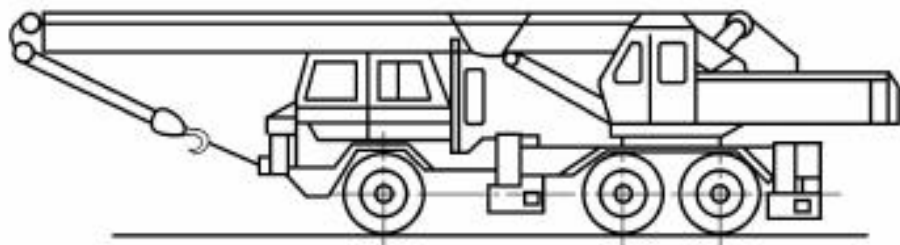
图 11.14 履带式起重机的性能曲线

11.2.1 起重机械 (crane) 的种类及特点



(2) 汽车式起重机

汽车式起重机 (truck-mounted crane) 是将起重机构安装在通用或专用汽车底盘上的一种自行式全回转起重机械 (图11.15) 。



(a) 汽车式起重机外形图



(b) 汽车式起重机实体图

图 11.15 汽车式起重机

11.2.1 起重机械（crane）的种类及特点



汽车式起重机按起重量大小分为轻型、中型和重型三种。起重量在20 t以内的为轻型，50 t(含)以上的为重型。目前，液压传动的汽车式起重机应用较为普遍。

汽车式起重机的主要技术性能有最大起重量、整机质量、吊臂全伸长度、吊臂全缩长度、最大起重高度、最小工作半径、起升速度、最大行驶速度等。汽车式起重机技术性能均可从相关的技术资料里查知，表11.4为QY型液压式汽车起重机技术性能表。

11.2.1 起重机械 (crane) 的种类及特点



表 11.4 Q₂-30 型汽车式起重机技术性能表

主要技术参数		主臂起重性能					
		工作半径/m	支腿全伸				不用支腿
名称	参数			10.00 m	17.00 m	24.00 m	31.00 m
全车总重	32.2 t	3.00	30.00	20.00	—	—	8.00
最大爬坡能力	31%	3.35	30.00	20.00	—	—	7.00
最大提升高度	34.00 m	3.50	28.10	20.00	—	—	6.40
吊臂全伸时长度	31.00 m	4.00	24.20	20.00	—	—	5.10
吊臂全缩时长度	10.00 m	4.50	21.40	20.00	13.00	—	4.20
最小转弯半径	11.50 m	4.8	20.00	20.00	13.00	—	3.70
最大仰角	80°	5.0	19.20	19.20	13.00	—	3.40
30 t 吊钩重	0.35 t	5.5	17.50	17.50	13.00	—	2.80
12 t 吊钩重	0.20 t	6.0	16.00	16.00	13.00	—	2.30
4 t 吊钩重	0.10 t	6.5	14.60	14.60	13.00	9.00	1.90
10 m 吊臂时钢丝绳数	8 根	7.0	13.50	13.50	12.00	9.00	1.60
10~17 m 时钢丝绳数	5 根	7.5	12.00	12.00	11.20	9.00	1.30
24 m 时钢丝绳数	4 根	8.0	10.50	10.50	10.50	9.00	1.00
31 m 时钢丝绳数	3 根	8.5	—	9.40	9.40	9.00	—

11.2.1 起重机械（crane）的种类及特点



（3）轮胎式起重机

轮胎式起重机（rubber\tyred crane）是把起重机构安装在加重型轮胎和轮轴组成的特制底盘上的一种全回转式起重机（图11.16），其上部构造与履带式起重机基本相同，为了保证安装作业时机身的稳定性，起重机设有四个可伸缩的支腿。与汽车式起重机相比，轮胎式起重机具有轮距较宽、稳定性好、车身短、转弯半径小等特点，可在360°范围内工作。同时，轮胎式起重机行驶时对路面的破坏性较小。但轮胎式起重机行驶时对路面要求较高，行驶速度较汽车式慢，不适于在松软泥泞的地面上工作，不宜长距离行驶，适宜于作业地点相对固定而作业量较大的现场。轮胎式起重机的主要技术性能有额定起重量、整机质量、最大起重高度、最小回转半径以及起升速度等。轮胎式起重机的技术性能可见表11.5。

11.2.1 起重机械（crane）的种类及特点



(a) 轮胎式起重机外形图



(b) 轮胎式起重机实体图

图 11.16 轮胎式起重机

11.2.1 起重机械 (crane) 的种类及特点



表 11.5 轮胎式起重机技术性能表

参数			型号									
			QL ₃ -16			QL ₃ -25					QL ₁ -16	
起重机长度/m			10	15	20	12	17	22	27	32	10	15
最小起重半径/m			4	4.7	8	4.5	6	7	8.5	10	4	4.7
最大起重半径/m			11.0	16.5	20.0	11.5	14.5	19	21	21	11	15.5
起重量/kN	最小起重半径时	用支脚	160	110	80	250	145	106	72	50	160	110
		不用支脚	75	60	—	60	35	34	—	—	75	60
	最大起重半径时	用支脚	28	15	8	46	28	14	8	6	28	15
		不用支脚	—	—	—	—	5	—	—	—	—	—
起重高度/m	最小起重半径时		8.3	13.2	17.95	—	—	—	—	—	8.3	13.2
	最大起重半径时		5.3	4.6	6.85	—	—	—	—	—	5.0	—

11.2.1起重机械（crane）的种类及特点



3 . 塔式起重机

广泛应用于多层和高层工业与民用建筑安装和垂直运输施工中。具体内容详见本教材项目5。

11.2.2起重机械的稳定性验算



1. 起重机械稳定性影响因素

影响起重机械稳定性的因素主要有：吊臂长度（span of crane）、离心力（centrifugal force）、起吊方向（orientation of lifting）、风力（wind power）、坡度（degree of slope）、惯性力（apparent force）及其他因素等。只有明确了其影响因素才可以准确对其稳定性进行验算。

11.2.2起重机械的稳定性验算



2. 履带式起重机稳定性验算

履带式起重机超载吊装时或由于施工需要而接长起重臂时，为保证起重机的稳定性，必须进行稳定性验算。履带式起重机稳定性验（checking computation of stability for crawler crane）应在起重机的最不利工作状态(起重臂与行驶方向垂直)下进行，此时，以履带中心点为倾覆中心，验算起重机的稳定性，如图11.17所示。

11.2.2 起重机械的稳定性验算

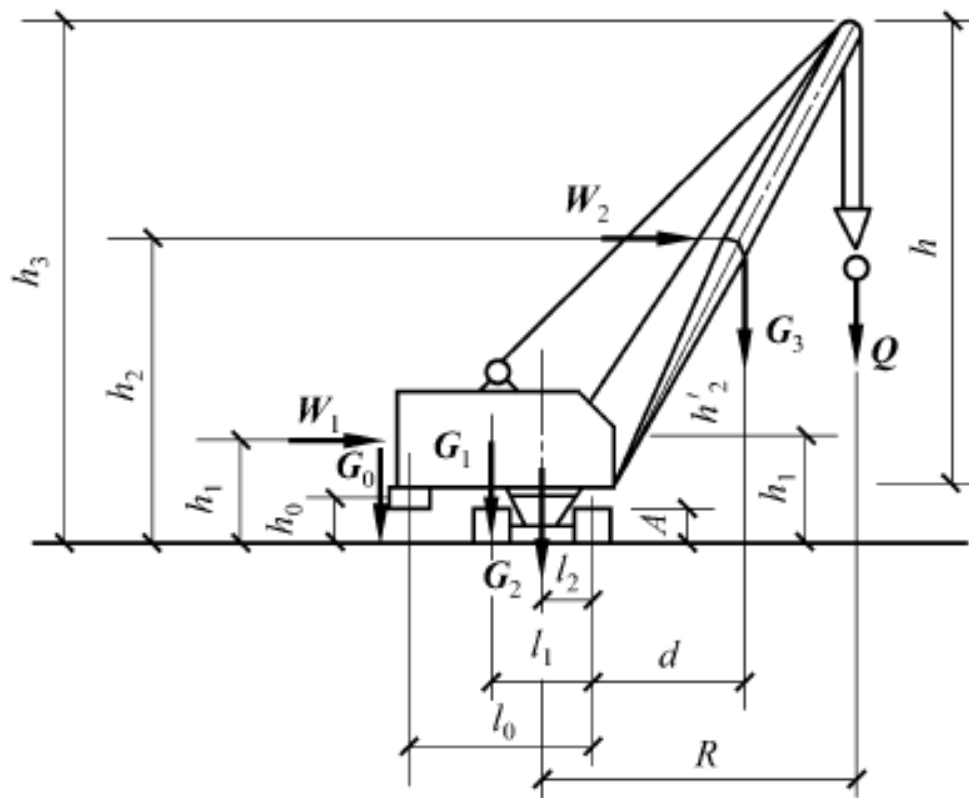


图 11.17 履带式起重机稳定验算分析

11.2.2起重机械的稳定性验算



本工程结构安装过程中，选用W1—100型履带式起重机进行结构安装，其稳定性按照以下公式进行验算。

为保证起重机的稳定性，要求在最不利工作状态下，起重机本身具有的抵抗倾覆的能力（稳定力矩）大于在自重及外荷载综合作用下所产生的倾覆力矩，验算时有两种验算方法：一种考虑吊装荷载及所有附加荷载（如风荷载、刹车惯性荷载等）；另一种只考虑吊装荷载，不考虑附加荷载，验算公式如下。

11.2.2起重机械的稳定性验算



当考虑吊装荷载及所有附加荷载时，其稳定安全系数可按下式验算：

$$K_1 = \frac{M_{\text{稳}}}{M_{\text{倾}}} = \frac{(G_1 l_1 + G_2 l_2 + G_0 l_0 - (G_1 l_1 + G_2 l_2 + G_0 l_0 + G_3 l_3) \sin \beta - G_3 l_3 - M_F - M_G - M_L)}{(Q + q)(R - l_3)} \geq 1.15$$

当只考虑吊装荷载，不考虑附加荷载时，其稳定安全系数可按下式验算：

$$K_2 = \frac{M_{\text{稳}}}{M_{\text{倾}}} = \frac{(G_1 l_1 + G_2 l_2 + G_0 l_0 - G_3 l_3)}{(Q + q)(R - l_3)} \geq 1.40$$

式中 K_1 ， K_2 ——稳定性安全系数；

$M_{\text{稳}}$ ——稳定力矩；

$M_{\text{倾}}$ ——倾覆力矩；

G_0 ——平衡重的重量；

G_1 ——起重机机身可转动部分重量；

G_2 ——起重机机身不转动部分重量；

G_3 ——起重臂重量；

11.2.2起重机械的稳定性验算



Q ——起重荷载（包括构件及索具重量）；

q ——起重滑轮组重量；

l_1 —— G_1 重心至A点距离；

l_2 —— G_2 重心至A点距离；

d —— G_3 重心至A点距离；

l_0 —— G_0 重心至A点距离；

h'_1 —— G_1 重心至地面距离；

h'_2 —— G_2 重心至地面距离；

h_2 —— G_3 重心至地面距离；

h_0 —— G_0 重心至地面距离；

β ——地面倾斜角（ $\leq 3^\circ$ ）；

R ——起重半径；

11.2.2起重机械的稳定性验算



MF——风载引起的倾覆力矩,

$$MF=W_1h_1+W_2h_2+W_3h_3 ;$$

W1——作用在起重机上的风荷载；

W2——作用在起重臂上的风荷载，按荷载规范计取；

W3——作用在所吊构件上的风荷载，按构件实际受风面积计取；

h1——操作室后面中心至地面的距离；

h3——起重臂顶端至地面的距离，考虑6级以上风时，不能进行高空安装作业，而6级以下风对起重机影响较小。因此，当起重机的臂长小于25 m时，不计风载力矩的影响；

11.2.2起重机械的稳定性验算



MG——重物下降时突然刹车惯性力引起的倾覆力矩；

$$MG=(Q+q)v(R-l_2)/gt$$

式中v——吊钩下降速度（m/s），取吊钩起重速度的1.5倍；

g——重力加速度（9.8 m/s²）；

t——制动时间（由v - 0），取1 s；

ML——起重机回转时离心力引起的倾覆力矩；

$$ML=(Q+q)Rn^2h/(900-nh)$$

n——起重机回转速度（r/min）；

h——所吊构件在最低位置时，其重心至起重臂顶端距离；

h₃——起重臂顶端至地面的距离。

11.2.2起重机械的稳定性验算



本工程1#车间安装工地，施工方拟采用W1—100型履带式起重机（起重臂长为13 m）吊装车间B、C轴线钢筋混凝土排架柱，每根柱重（含索具、滑轮等）145 kN，试验算该起重机的稳定性。

根据现场实测可知 $G_1=200$ kN， $G_2=145$ kN， $G_0=30$ kN， $G_3=42.5$ kN，起重臂取13 m。

11.2.2起重机械的稳定性验算



根据起重机手册可查知相关数据并经计算得：

$$l_2 = 1.26 \text{ m}$$

由实测可得： $l_1 = 2.63 \text{ m}$ ， $l_0 = 4.59 \text{ m}$ 。

查表可知： $R = 4.23 \text{ m}$

由此可计算得：

$$l_3 = R - l_2 + l_3 \cos 77^\circ = 1.29 \text{ m}$$

注：最大仰角为 77° 。

将 $Q = 175 \text{ kN}$ 及上述数值代入式 (11.7) 可得：

$$K_2 = 200 \times 2.63 + 145 \times 1.26 + 30 \times 4.59 - 42.5 \times 1.29 - 175 \times 4.23 - 1.26 = 1.83 > 1.4$$

由此可验算得，采用W1—100型履带式起重机吊装该柱是安全稳定的。

11.2.2起重机械的稳定性验算



3. 塔式起重机稳定性验算

但如若采用塔式起重机，则需依据《起重机设计规范》中所规定的各种工况，在最不利的荷载组合条件下，采用稳定力矩 $\Sigma M \geq 0$ 的力矩法原则进行抗倾覆稳定性验算，即要求包括起重机自重在内的各项荷载对倾覆边的力矩之和大于或等于零($\Sigma M \geq 0$)，则认为起重机是稳定的。

塔式起重机稳定性验算 (checking computation of stability for pillar crane) 可分为有荷载时和无荷载时两种状态稳定性验算。

(1) 有荷载时稳定性验算

塔式起重机有荷载稳定性验算时，其计算简图如图11.18所示，此时塔式起重机临界倾覆点为塔式起重机右支撑点。

11.2.2 起重机械的稳定性验算

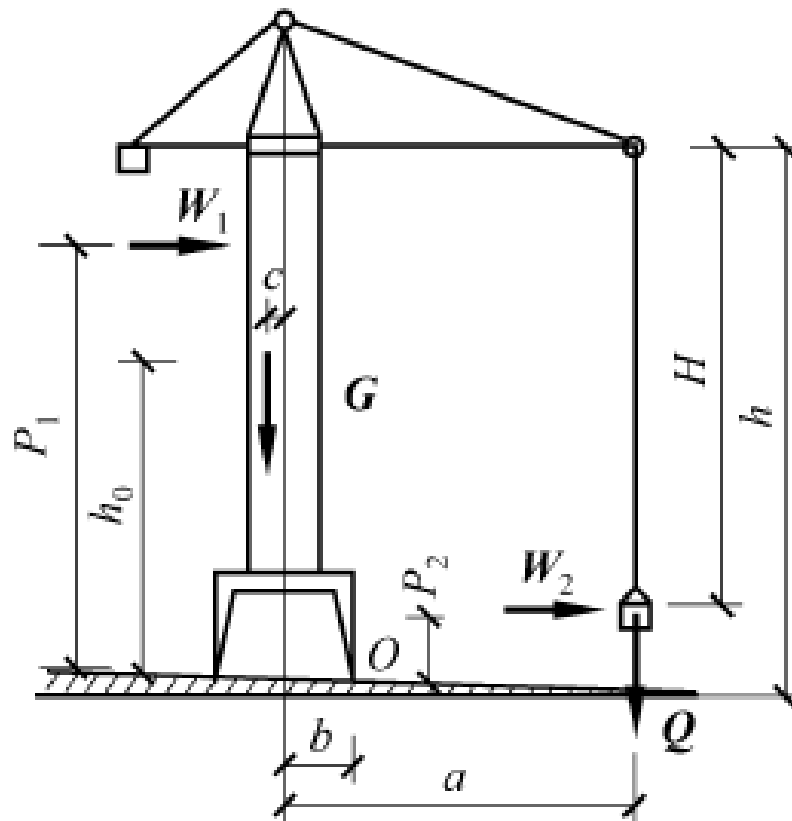


图 11.18 塔式起重机有荷载稳定验算分析

11.2.2起重机械的稳定性验算



塔吊有荷载时,根据力矩法其稳定安全系数可按式(11.8)验算:

$$K_1 = \frac{1Q(a-b) + G(c - h_0 \sin \alpha + b) - Qv(a-b)gt - W_1P_1 - W_2P_2 - Q_n^2 a h_0}{900 - H_n^2} \geq 1.15$$

式中 K_1 ——塔吊有荷载时稳定安全系数,允许稳定安全系数最小取1.15;

G ——起重机自重力(包括配重、压重);

c ——起重机重心至旋转中心的距离;

h_0 ——起重机重心至支撑平面距离;

b ——起重机旋转中心至倾覆边缘的距离;

Q ——最大工作荷载;

g ——重力加速度;

v ——起升速度;

t ——制动时间;

11.2.2起重机械的稳定性验算



a ——起重机旋转中心至悬挂物重心的水平距离；

W_1 ——作用在起重机上的风力；

W_2 ——作用在荷载上的风力；

P_1 ——自 W_1 作用线至倾覆点的垂直距离；

P_2 ——自 W_2 作用线至倾覆点的垂直距离；

h ——吊杆端部至支撑平面的垂直距离；

n ——起重机的旋转速度；

H ——吊杆端部到重物最低位置时的重心距离；

α ——起重机的倾斜角(轨道或道路的坡度)。

验算后，如稳定性系数 K 不满足要求，则需采取措施，以确保起重机吊装施工的稳定性的稳定性。

11.2.2 起重机械的稳定性验算



(2) 无荷载时稳定性验算

塔式起重机无荷载稳定验算时，其计算简图如图11.19所示，此时塔式起重机临界倾覆点为塔式起重机左支撑点。

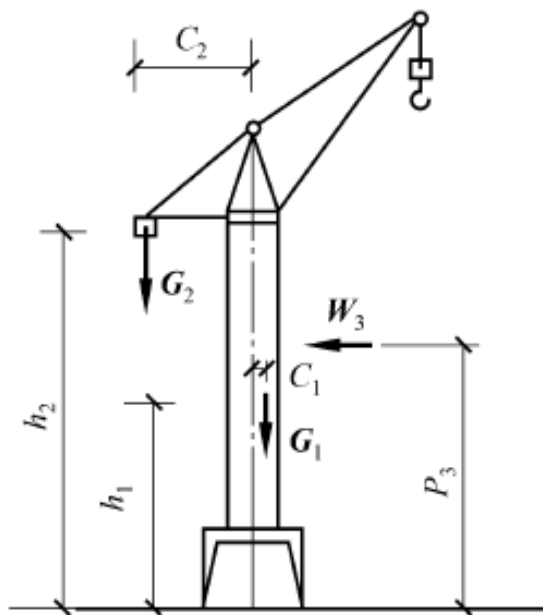


图 11.19 塔式起重机无荷载稳定验算分析

11.2.2起重机械的稳定性验算



塔吊无荷载时,根据力矩法其稳定安全系数可按下式验算:

$$K_2 = G_1(b + c_1 - h_1 \sin \alpha) + G_2(c_2 - b + h_2 \sin \alpha) + W_3 P_3 \geq 1.15$$

式中 K_2 ——塔吊无荷载时稳定安全系数,允许稳定安全系数最小取1.15;

G_1 ——倾覆点至吊钩之间塔吊各部分的重力和;

c_1 —— G_1 至旋转中心的距离;

b ——起重机旋转中心至倾覆边缘的距离;

h_1 —— G_1 至支撑平面的距离;

G_2 ——使起重机倾覆部分的重力;

c_2 —— G_2 至旋转中心的距离;

h_2 —— G_2 至支撑平面的距离;

W_3 ——作用在起重机上的风力;

P_3 —— W_3 至倾覆点的距离;

11.2.2起重机械的稳定性验算



α ——起重机的倾斜角(轨道或道路的坡度)。

验算后，如稳定性系数K不满足要求，则需采取措施，以确保起重机吊装施工
的稳定性。

11.2.3 起重臂接长验算



当起重机的起重高度或起重半径不能满足构件安装需要时，则在起重臂强度和稳定性得到保证的前提下，可采用接长起重臂杆的方法予以解决，接长后起重量 Q' 可根据等力矩原则进行计算。本节以履带式起重机为例介绍起重臂的接长验算，如图11.20所示。

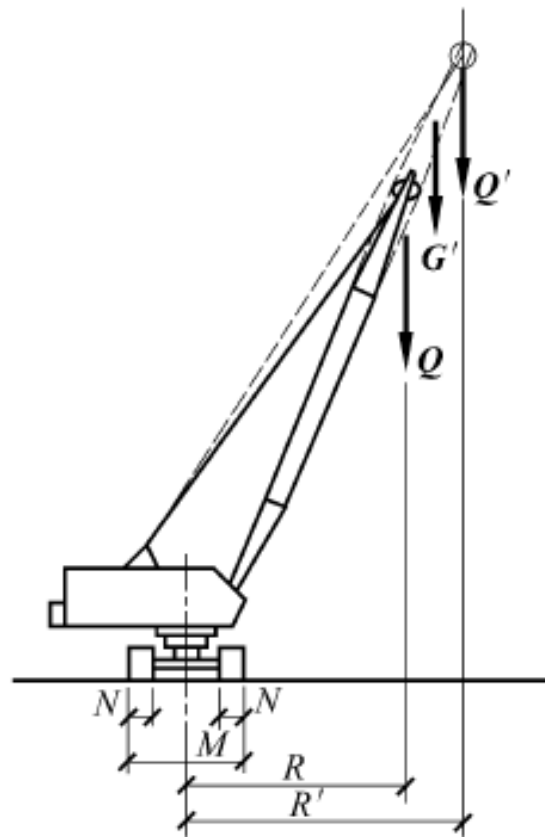


图 11.20 起重机臂接长验算

11.2.3 起重臂接长验算



由等力矩原则，即 $\sum M=0$ ，可列出下式：

$$Q'R'-M^2+G'(R+R'^2-M^2) \leq QR-M^2$$

整理可得：

$$Q'=12R'-M [Q(2R-M)-G'(R+R'-M)]$$

式中 Q ——起重机接长前起重重量；

Q' ——起重机接长后起重重量；

R ——起重机接长前起重半径；

R' ——起重机接长后起重半径；

G' ——起重臂接长部分的重量。

11.2.3起重臂接长验算



本工程1#车间安装工地，施工单位拟采用W1—100型履带式起重机（起重臂长为13 m）吊装该厂房钢筋混凝土屋架，屋架自重为45 kN，但受现场条件限制，需对该型号起重机臂进行接长，为将屋架吊装至设计位置该起重机臂需接长10 m，试验算该起重机臂如此接长是否满足要求。

根据现场计算及起重机手册可知 $M=3.2$ m， $R=4.23$ m， $R'=6.5$ m， $G'=33.45$ kN， $Q=150$ kN。

由式（11.10）、式（11.11）可得：

$$\begin{aligned} Q' &= 12R' - M [Q(2R - M) - G'(R + R' - M)] \\ &= 12 \times 6.5 - 3.2 [150 \times (2 \times 4.23 - 3.2) - 33.45 \times (4.23 + 6.5 - 3.2)] \text{ kN} \\ &= 54.8 \text{ kN} > 45 \text{ kN} \end{aligned}$$

由此可知，采用该型号起重机将起重臂接长10 m后，既可将该工程屋面板吊装至设计位置，又满足接长稳定安全条件。



11.3

钢筋混凝土排架结构单层工业厂房结构安装方案

11.3 钢筋混凝土排架结构单层



工业厂房结构安装方案 钢筋混凝土排架结构 (bent conformation of reinforced concrete) 单层工业厂房一般除基础在施工现场就地灌注外，其他构件均为预制构件。根据预制构件制作工艺的不同，一般分为普通钢筋混凝土构件 (constructional element of reinforced concrete) 和预应力钢筋混凝土构件 (constructional element of prestressed reinforced concrete) 两大类。钢筋混凝土排架结构单层工业厂房预制构件主要有柱、吊车梁、连系梁、屋架、天窗架和屋面板等。一般尺寸大、构件重的大型构件 (如屋架、柱) 由于运输困难多在现场就地预制；而其他重量轻、数量较多的构件 (如屋面板、吊车梁、连系梁等) 宜在预制工厂预制，然后运至现场进行安装。

11.3.1准备工作



结构安装前准备工作的好坏，直接影响整个安装工程施工进度及安装质量。为了实现工程开工后，能安全、文明、有序地组织结构安装施工，在结构安装之前，必须先做好各项准备工作。主要包括场地的清理，道路的铺设，水电管线的铺设，基础的准备，构件的运输、堆放、拼装和临时加固，构件的检查、清理以及构件的弹线、编号等。

1. 场地清理与铺设道路、水电管线

工程开工前，按照现场平面布置图，标出起重机械的开行路线，清理道路上的杂物，并进行平整压实。在回填土或松软地基上，要用枕木或厚钢板铺垫，以确保起重机械的开行要求。在雨季施工，还要做好施工排水工作。在施工过程中可能使用水电的工序、位置要提前做好水电管线铺设工作。

11.3.1准备工作

2. 基础准备

(1) 杯底抄平

为便于调整柱子牛腿面的标高，一般杯底浇筑后的标高应较设计标高低50 mm。柱吊装前，需要对杯底标高进行抄平。在杯底抄平时，首先测量出杯底原有标高，对中小型预制柱测中间一点，对大型预制柱测四个角点；再测量出吊入该杯形基础柱的柱脚至牛腿面的实际长度，然后根据安装后柱牛腿面的设计标高计算出杯底标高调整值，并在杯口内标出。最后用水泥砂浆或细石混凝土将杯底找平至所需的标高处，如图11.21所示。

(2) 杯口弹线

根据厂房柱网轴线，在基础杯口顶面弹出建筑物的纵、横十字交叉的定位轴线及柱的吊装中心线，以作为柱吊装时对位和校正的依据，吊装中心线对定位轴线的允许偏差为 ± 10 mm。



11.3.1准备工作

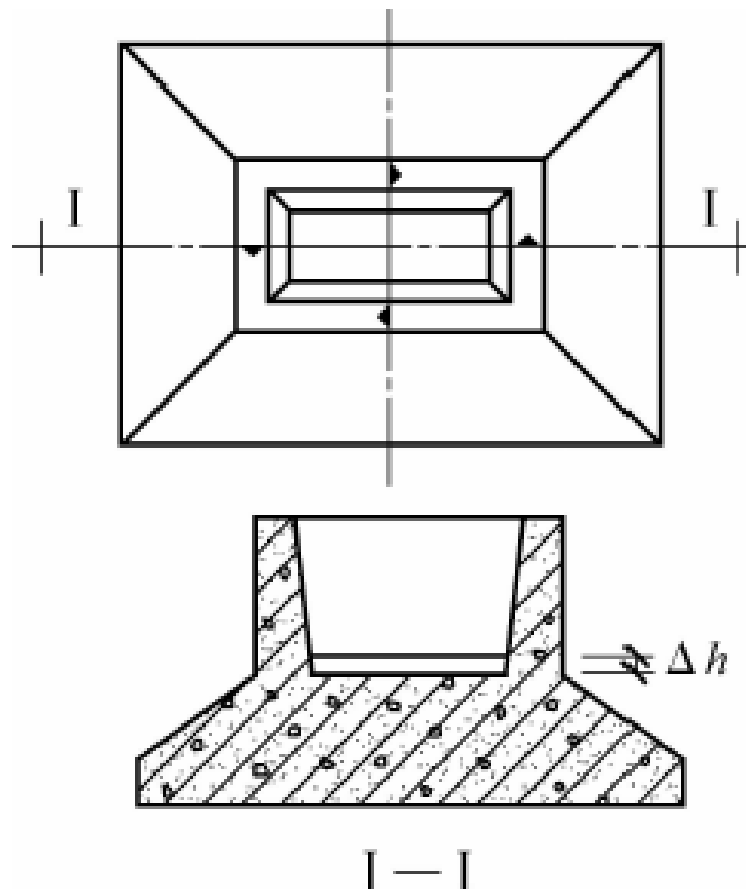


图 11.21 基础准备

11.3.1准备工作



3 . 构件的运输、堆放、拼装和加固

钢筋混凝土排架单层工业厂房在预制工厂制作或施工现场集中制作的构件，吊装前应选用合适的运输方式运送至吊装地点进行就位。通常采用载重汽车和平板拖车运输，构件运输过程中，必须保证构件不损坏、不变形、不倾覆。因此，在构件运输时应符合下列规定。

(1) 构件的运输

①运输时的构件混凝土强度应符合设计要求，当设计无具体规定时，不应小于设计混凝土强度标准值的75%；对于屋架、薄腹梁等构件不应小于设计混凝土强度标准值的100%。

②预制构件支撑的位置和方法，应符合设计要求或根据其受力情况确定，不得引起混凝土的超应力或损伤构件。

11.3.1准备工作



③构件装运时应绑扎牢固，以防在运输过程中移动或倾倒。对构件边部、端部或与链索接触处的混凝土，应采用衬垫加以保护，以防止其损坏。

④运输细长构件时，行车应平稳，并可根据需要对构件设置临时水平支撑；在装运屋架等重心较高、支撑面较窄的构件时，应用支架固定牢固，以提高其平面外稳定性，防止倾倒损坏。

11.3.1准备工作



(2) 构件的堆放

构件的堆放尽量避免二次搬运，并应符合下列规定。

- ①场地应平整坚实，并有排水措施，堆放构件应与地面之间有一定空隙，以防构件因地面不均匀下沉而造成倾斜或倾倒损坏。
- ②应根据构件的刚度及受力情况，确定构件平放或立放，并应保持其稳定，按设计的受力情况搁置在垫木或支架上。
- ③重叠堆放的构件，吊环应向上，标志应向外。其堆垛高度及层数应根据构件与垫木的承载能力及堆垛的稳定性确定，一般梁可堆叠2~3层，大型屋面板不超过6块，空心板不宜超过8块；并且各层之间应铺设垫木，垫木的位置应在同一条垂直线上。

11.3.1准备工作



(3) 构件的拼装

钢筋混凝土预制构件中，一些大型或侧向刚度较差的构件，如天窗架、大跨度桁架等，为便于运输和防止在扶直和运输中损坏，常把它们分为若干部分预制，然后将各部分运至吊装现场组合成一个整体，即称为构件的拼装。预制构件拼装有平拼和立拼两种，前者是将构件各部分平卧于操作台或地面上进行拼装，拼装完毕后用起重机械吊至施工平面布置图中所指定的位置上堆放；后者是将构件各部分立着拼装，并直接拼装在施工平面布置图中所指定的位置上。

一般情况下，中小型构件采用平拼，如6 m跨度的天窗架和跨度在18 m以内的桁架；而大型构件采用立拼，如跨度为9 m的天窗架和跨度在18 m以上的桁架。但需注意的是立拼必须有可靠的稳定措施，否则，很容易出现安全质量事故。

11.3.1准备工作



(4) 构件的临时加固

预制构件在翻身扶直和吊装时所受荷载，一般均小于设计的使用荷载，然而荷载的位置大多与设计时的计算图式不同，而构件扶直和吊装时可能产生变形或损坏。因此，当构件扶直和吊装时吊点与设计规定不同时，在吊装前需进行吊装应力验算，并采取适当的临时加固措施，以防止构件的损坏。

11.3.1准备工作



4 . 构件的检查、清理

①构件安装前，应对各类构件的数量是否与设计的件数相符进行检查，以防在施工中发现某型号构件数量不足出现停工呆料的情况而影响施工进度。

②构件安装前，应对各类构件的强度进行全面检查，确保符合设计要求：一般预制构件吊装时混凝土的强度不低于设计强度的75%；对于一些大跨度或重要构件，如屋架等，其强度达到100%的设计强度等级；对于预应力混凝土屋架，孔道灌浆强度应不低于15 N/mm²。

③外观质量。

构件的外观质量检查涉及构件的外形尺寸、外表面质量、预埋件的位置和尺寸、吊环的位置和规格及钢筋的接头长度等，规定均要符合设计要求。

构件检查应做好记录，对不合格的预制构件，应会同有关单位研究，并采取有效措施，否则，严禁进行安装。

11.3.1准备工作



5 . 构件的弹线、编号

(1) 柱子

要在三个面上弹出安装中心线，矩形截面可按几何中心线弹线；工字形截面柱，除在矩形截面弹出中心线外，为便于观察及避免视差，要求还应在工字形截面的翼缘部位弹出一条与中心线平行的线。所弹中心线位置应与基础杯口顶面上的安装中心线相吻合。此外，在牛腿面和柱顶弹出吊车梁和屋架的吊装中心线，如图11.22所示。

11.3.1准备工作

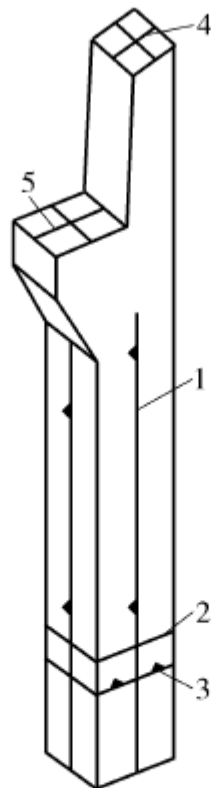


图 11.22 柱弹线图

1—柱子中心线；2—地面标高线；3—基础顶面线；
4—屋架定位线；5—吊车梁定位线

11.3.1准备工作



(2) 屋架

屋架上弦顶面应弹出几何中心线，并延伸至屋架两端下部，再从屋架跨度中央向两端弹出天窗架、屋面板的吊装位置线。

(3) 吊车梁

吊车梁应在梁两端及顶面弹出安装中心线。

在对柱子、屋架及吊车梁弹线的同时，应按照设计图纸要求对构件进行编号，编号应写在明显的位置。对不易辨别上下、左右的构件，还应在构件上注明方向，以免安装时将方向搞错。

11.3.2 构件吊升方法、技术要求及起重机械的选择



1. 构件吊升方法

(1) 柱的安装

① 柱的绑扎。

柱的绑扎方法、绑扎位置和绑扎点数，要根据柱的形状、断面、长度、配筋、起吊方法和起重机性能等因素确定，要保证柱在吊装过程中受力合理，不发生变形或裂缝而折断。绑扎柱的吊具主要有吊索、卡环和横吊梁等。绑扎时要在吊具与构件之间垫麻袋或木板以免磨损吊具和构件损坏。

一般对于中、小型柱(自重 $\leq 13\text{ t}$)，多采用一点绑扎，绑扎点位置可选在牛腿以下200 mm处；对于重型柱和配筋少而细长的柱，为减少吊装弯矩，防止起吊过程中柱身断裂，则需要两点甚至三点绑扎，绑扎点位置应使两根吊索的合力作用线高于柱的重心以使柱在起吊后呈自行回转直立状态。必要时，需经吊装应力和裂缝控制计算后确定。

11.3.2 构件吊升方法、技术要求及起重机械的选择



按柱吊起后柱身是否保持垂直状态，分为斜吊法和直吊法，相应的绑扎方法如下。

a.斜吊绑扎法：如图11.23（a）所示，斜吊绑扎法起吊时，无须将柱翻身，吊起后柱呈倾斜状态，起重吊钩可低于柱顶，但因起吊后柱身与杯底不垂直，对线就位比较困难。

b.直吊绑扎法：如图11.23（b）所示，直吊绑扎法起吊时，吊具分别在柱身两侧，吊钩位于柱顶之上，吊起后柱呈垂直状态，可垂直插入杯口。

11.3.2 构件吊升方法、技术要求及起重机械的选择

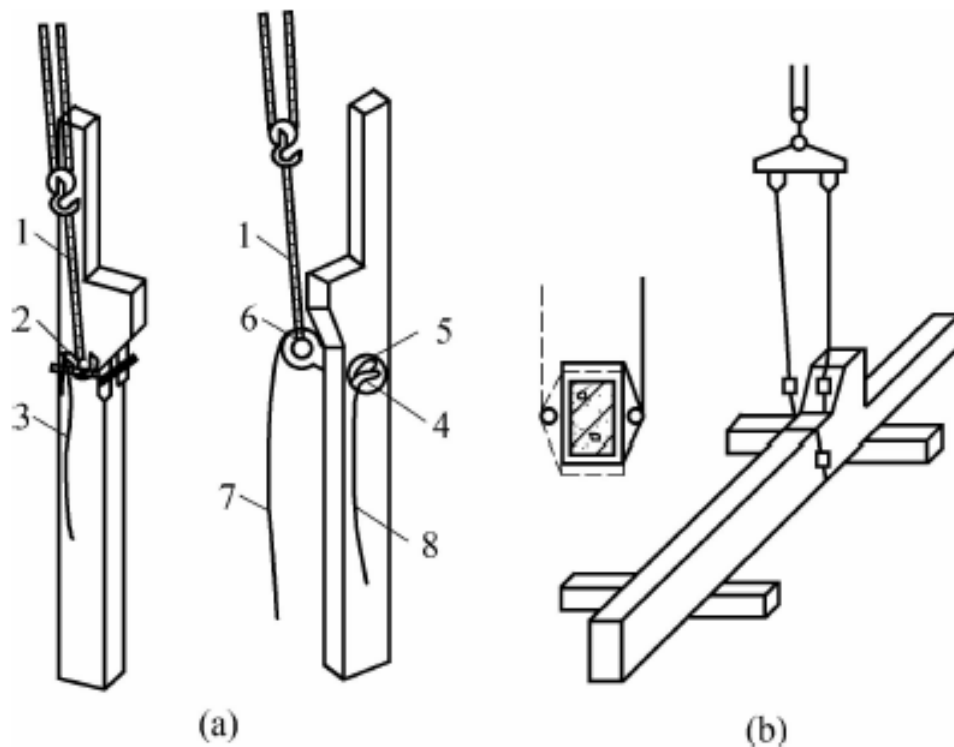


图 11.23 柱吊装绑扎法

1—吊索；2—活络卡环；3—活络卡环插销拉绳；4—插销；
5—垫圈；6—柱销；7—柱销拉绳；8—插销拉绳

11.3.2 构件吊升方法、技术要求及起重机械的选择



②柱的吊起。

柱的吊起方法，可由柱的重量、长度、起重机械的性能和现场施工条件确定。根据柱在吊起过程中柱身运动的特点，柱的吊起分为滑行法和旋转法两种。

a. 滑行法: 柱吊起时，起重机械不旋转，仅起重吊钩上升，柱脚沿地面滑行，柱顶也随之上升，直至柱身呈直立状态，然后将柱吊离地面，再旋转起重机械至基础杯口上方，将柱脚插入杯口。该吊起方法的操作关键在于柱的吊绑扎点位于基础杯口附近，并使柱的绑扎点和基础杯口中心共圆，其圆心为起重机回转中心，半径为起重机械到绑扎点的距离，如图11.24所示。

11.3.2 构件吊升方法、技术要求及起重机械的选择

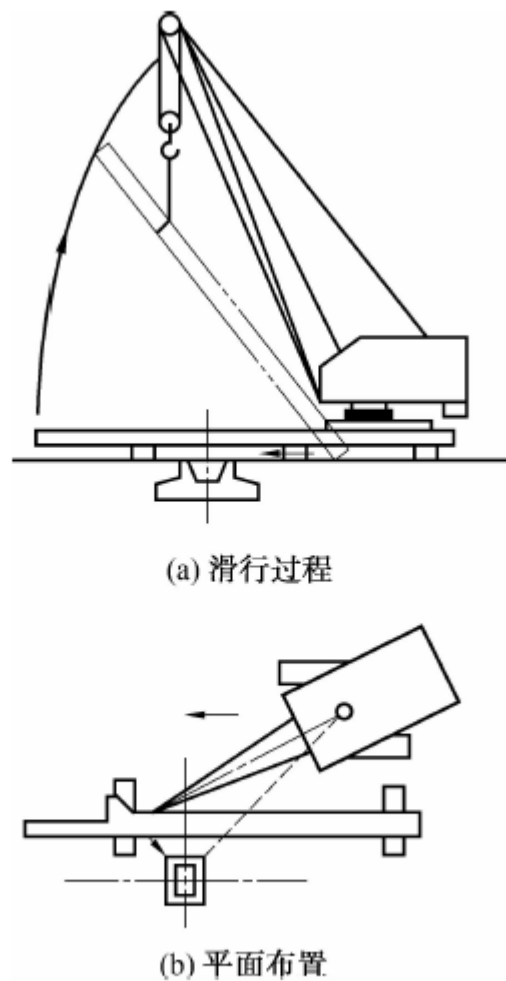


图 11.24 滑行法

11.3.2 构件吊升方法、技术要求及起重机械的选择



b.旋转法:柱吊起时,起重机边起钩,边旋转,使柱身绕柱脚旋转成直立状态,然后将柱吊离地面,再旋转至杯口上方,将柱脚插入杯口。该吊起方法的操作关键在于柱脚位于基础杯口附近,保持柱脚位置不变,并使柱的绑扎点、柱脚中心和基础杯口中心三点共圆,其圆心为起重机械的回转中心,半径为起重机械到绑扎点的距离,如图11.25所示。

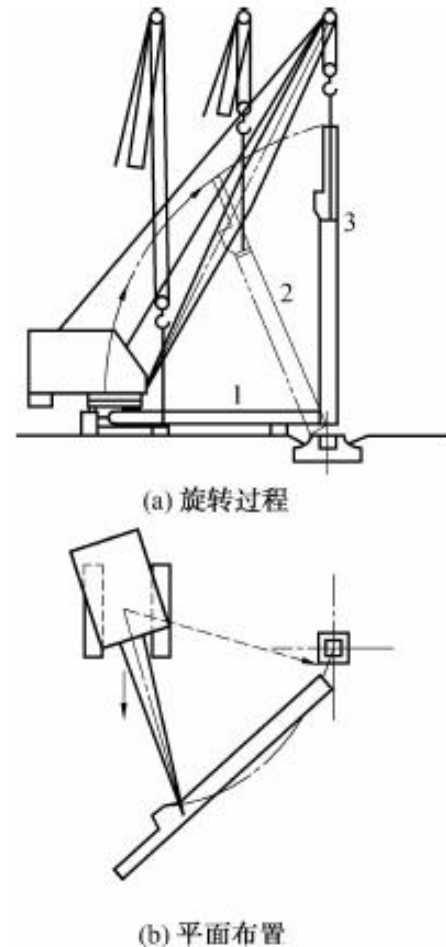


图 11.25 旋转法

1—柱吊起前;2—吊起中间;3—柱吊起后

11.3.2 构件吊升方法、技术要求及起重机械的选择



③ 柱的对位和临时固定。

柱脚插入杯口后，并非立即插入杯底，而是悬在距杯底30~50 mm处进行对位，即使柱的安装中心线与杯口的定位轴线对齐。对位时，用8块钢楔或木楔从柱的四周插入杯口，并用撬棍撬动柱脚，使柱身中心线对准杯口定位轴线，并保持柱的垂直，即可落钩将柱脚放入杯底，并复查中线。柱脚就位后，将柱身四周的8块楔子对称打紧，使柱身临时固定，然后起重机械脱钩，拆除绑扎吊具，如图11.26所示。吊装重型柱或细长柱时，除采用楔块临时固定外，必要时，应增设缆风绳或加设斜撑，以保证柱的稳定。

11.3.2 构件吊升方法、技术要求及起重机械的选择

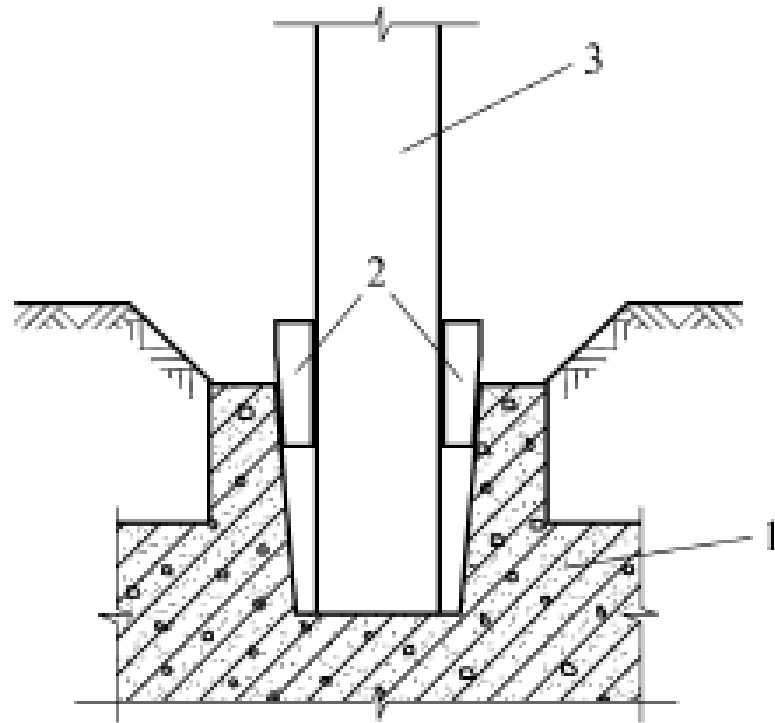


图 11.26 柱临时固定

1—基础；2—楔块；3—柱

11.3.2 构件吊升方法、技术要求及起重机械的选择

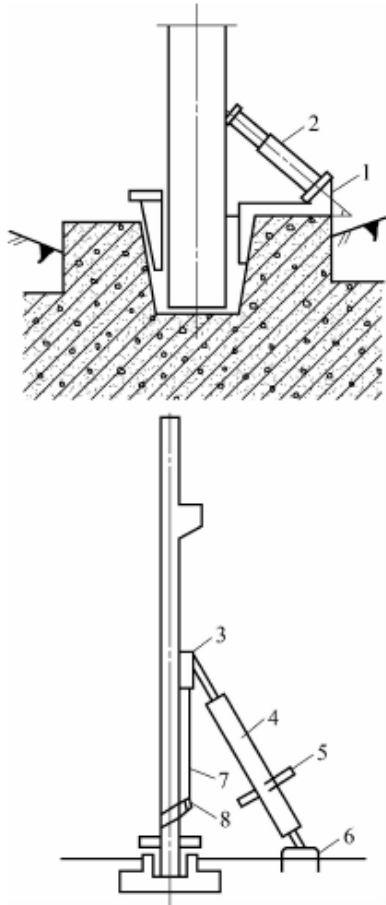


④ 柱的校正。

柱的校正包括平面轴线位置、标高和垂直度三个方面。柱的平面轴线位置和标高的校正已在柱的对位和基础杯底抄平时完成。因此，柱吊装后主要是指校正柱身的垂直度。

柱垂直度的校正是用两台经纬仪从柱相邻两个互相垂直的方向同时观测柱正面和侧面的吊装中心线垂直度偏差，其允许偏差值为：当柱高小于或等于5 m时，允许偏差为5 mm；当柱高大于5 m且小于10 m时，允许偏差为10 mm；当柱高大于或等于10 m时，允许偏差为柱高的1/1000且不大于20 mm。

11.3.2 构件吊升方法、技术要求及起重机械的选择



柱垂直度常用的校正方法为：当柱的垂直度偏差较小时，可用打紧或放松楔块的方法或用钢钎校正；当柱的垂直度偏差较大时，可用螺旋千斤顶斜顶或平顶、钢管撑杆等方法进行校正，如图11.27所示。

图 11.27 柱垂直度校正

1—千斤顶支座；2—螺旋千斤顶；3—头部摩擦板；
4—钢管；5—转动手柄；6—底板；7—钢丝绳；8—卡环

11.3.2 构件吊升方法、技术要求及起重机械的选择



⑤ 柱的最后固定。

柱校正后，应立即进行最后固定。即在柱脚与杯口的空隙之间浇筑细石混凝土，要求细石混凝土强度比构件混凝土强度提高一个等级，并振捣密实，使柱脚完全嵌固在基础内。所浇筑的细石混凝土宜采取微膨胀措施和快硬措施。细石混凝土的浇筑工作应分两次进行：第一次浇至楔块底面，待混凝土强度达到25%设计强度后，拔去楔块，再浇筑第二次混凝土至杯口顶面，并及时进行养护，待第二次浇筑的混凝土强度达到设计强度后，方可允许安装上部构件。当设计无具体要求时，应在混凝土强度不少于 $10 \text{ N} / \text{mm}^2$ 方能安装上部构件。

11.3.2 构件吊升方法、技术要求及起重机械的选择



(2) 吊车梁的安装

吊车梁的类型一般有鱼腹式、T形和组合式等。通常其长度为6 m、12 m，重量一般为3~5 t。吊车梁的吊装，必须在基础杯口第二次浇筑的细石混凝土强度达到设计强度等级的75%以上才能进行。

① 吊车梁的绑扎、吊升、对位和临时固定。

吊车梁吊装时应采用两点绑扎，绑扎点对称地设置在吊车梁的两端，以保证吊钩对准吊车梁重心，吊起后使构件基本保持水平。在梁的两端设拉绳控制梁的转动，以免与柱碰撞。吊车梁对位时应缓慢降钩，将梁端的安装中心线与柱牛腿上表面的安装定位线对准，并使两端搁置长度相等，严禁用撬棍顺纵轴方向撬动吊车梁，吊车梁的吊装如图11.28所示。

11.3.2 构件吊升方法、技术要求及起重机械的选择

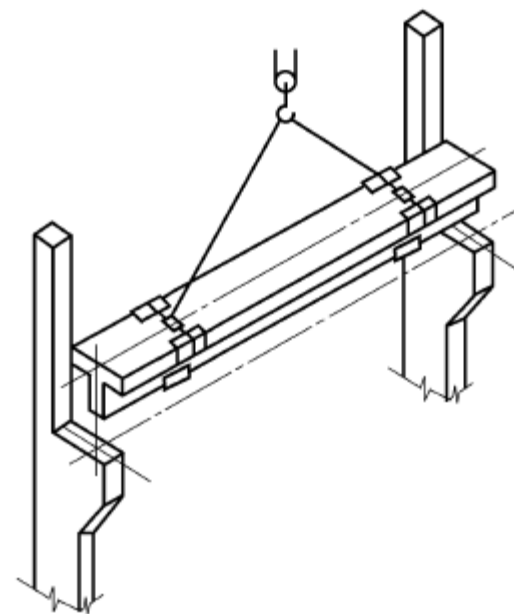


图 11.28 吊车梁安装

11.3.2 构件吊升方法、技术要求及起重机械的选择



② 吊车梁的校正。

吊车梁的校正可在屋盖吊装前进行，也可以在屋盖吊装后进行。一般对中小型吊车梁，校正工作应在车间或一个伸缩缝区段内全部结构安装完毕并经最后固定后进行。对于重型吊车梁由于脱钩后移动校正困难，宜在屋盖吊装前进行，边安装吊车梁边校正，但屋架等固定后，需再复核一次。校正内容包括标高、垂直度和平面位置。

a. 标高: 吊车梁标高主要取决于柱牛腿的标高，而柱的标高已经在柱吊装前通过基础杯底抄平进行了校正，一般偏差不大，如存在少许偏差，可在安装吊车轨道时，在吊车梁表面涂抹砂浆找平层进行调整。

11.3.2 构件吊升方法、技术要求及起重机械的选择



b.垂直度:吊车梁垂直度一般用锤球检查,偏差值应在规范规定的允许值(5 mm)以内,如超过允许偏差,可在梁的两端与牛腿面之间垫斜垫铁予以纠正,每叠垫铁不得超过三块。

c.平面位置:吊车梁平面位置校正主要包括检查梁的纵轴线的直线度和跨距是否符合要求。常用的校正方法有通线法和平移轴线法。

通线法。亦称拉钢丝法,该法是根据柱的定位轴线,在厂房两端的地面定出吊车梁定位轴线的位置,打下木桩,并安设经纬仪,用经纬仪先将厂房两端的四个吊车梁位置校正准确,并用钢尺检查两列吊车梁之间的跨距并校正,确保符合设计要求。然后在四根已校正的吊车梁端设置高约200 mm的支架,并根据吊车梁的定位轴线拉设钢丝通线。根据通线检查各吊车梁位置,如发现有吊车梁的安装纵轴线与通线不一致,则根据通线来逐根用撬棍拨正吊车梁即可,如图11.29所示。

11.3.2 构件吊升方法、技术要求及起重机械的选择

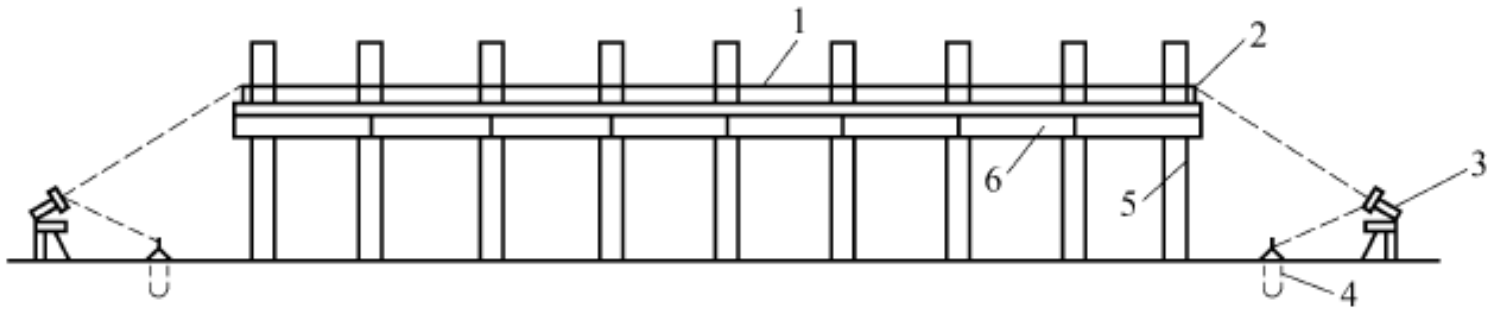


图 11.29 通线法校正吊车梁

1—钢丝；2—支架；3—经纬仪；4—木桩；5—柱；6—吊车梁

11.3.2 构件吊升方法、技术要求及起重机械的选择



平移轴线法。亦称仪器放线法，该法是在柱列外侧设置经纬仪，并将各柱杯口上的吊装准线逐根投影到吊车梁顶面处的柱身上，亦可在各柱上测设出一条与吊车梁轴线等距离的校正基准线，并做出标志；若标志线至柱定位轴线的距离为 a ，柱定位轴线距吊车梁定位轴线的距离为 λ ，则标志线到吊车梁定位轴线的距离为 $\lambda - a$ ，据此可逐根拨正吊车梁，并检查两列吊车梁的跨距是否符合设计要求，如图11.30所示。

③ 吊车梁的最后固定。

吊车梁的最后固定一般在校正后进行。吊车梁经校正完毕后，应立即将预埋件焊牢，并在吊车梁与柱接头的空隙处浇筑细石混凝土进行最后固定。

11.3.2 构件吊升方法、技术要求及起重机械的选择

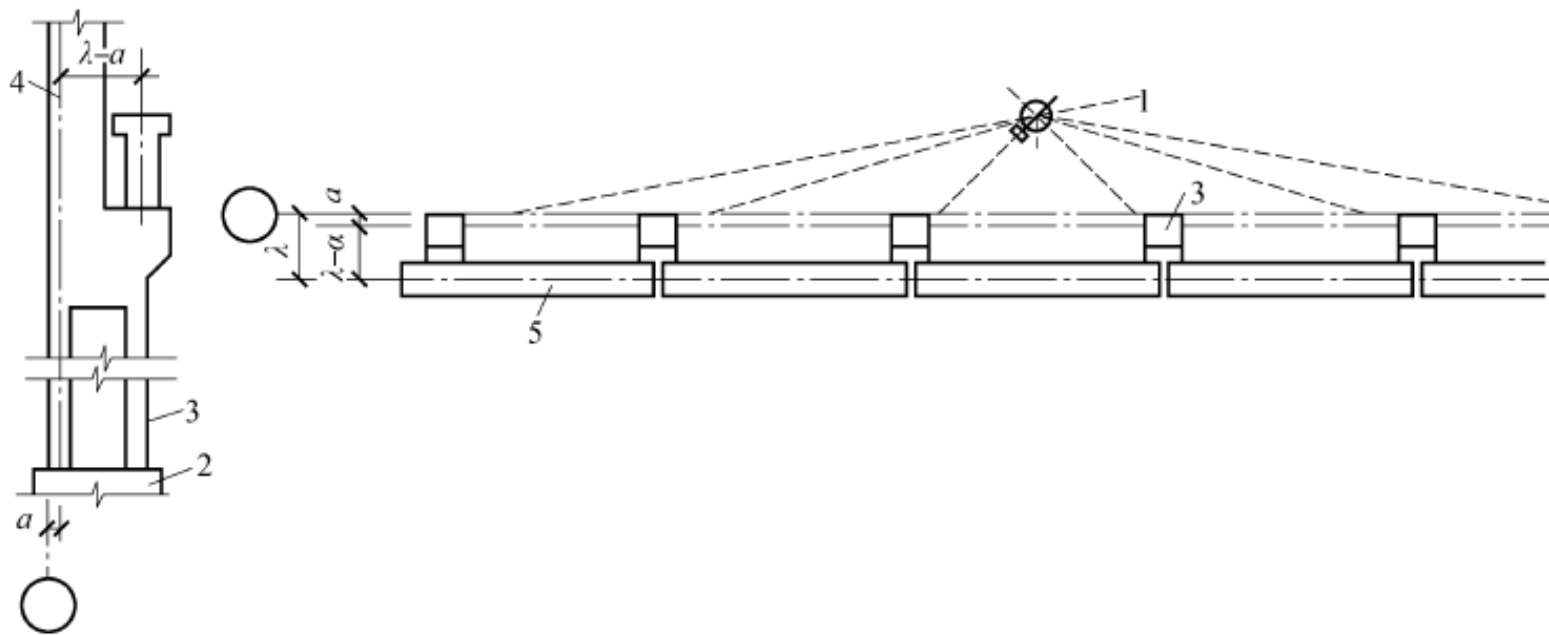


图 11.30 平移轴线法校正吊车梁

1—经纬仪；2—柱基础；3—柱；4—标志线；5—吊车梁

11.3.2 构件吊升方法、技术要求及起重机械的选择



(3) 屋架的安装

钢筋混凝土排架结构单层工业厂房的屋架由于尺寸大、重量大，一般多在施工现场平卧预制。屋架安装的施工顺序为：绑扎、扶直与就位、吊升、对位、临时固定、校正和最后固定。

① 屋架的绑扎。

屋架的绑扎点要求选在上弦节点处，左右对称，并高于屋架重心，同时在屋架两端加设拉绳，以确保屋架起吊后不晃动和倾翻。绑扎时，吊具与水平线的夹角，扶直时不宜小于 60° ，吊升时不宜小于 45° [提示7]，以免屋架承受过大的横向压力。必要时，为了减少绑扎高度及所受的横向压力，可采用横吊梁。屋架的绑扎点、绑扎方式与屋架的形式和跨度有关，其绑扎的位置与吊点的数目一般应经吊装设计确定，如吊点与设计不符，应进行吊装验算。一般屋架跨度小于或等于18 m时，可采用两点绑扎；屋架跨

11.3.2 构件吊升方法、技术要求及起重机械的选择



度大于18 m时，可采用四点绑扎；屋架的跨度大于或等于30 m时，应考虑采用横吊梁，以减小起重高度；对三角形组合屋架等刚性较差的屋架，因其下弦不能承受压力，故绑扎时也应采用横吊梁。屋架常用的绑扎方法如图11.31所示。

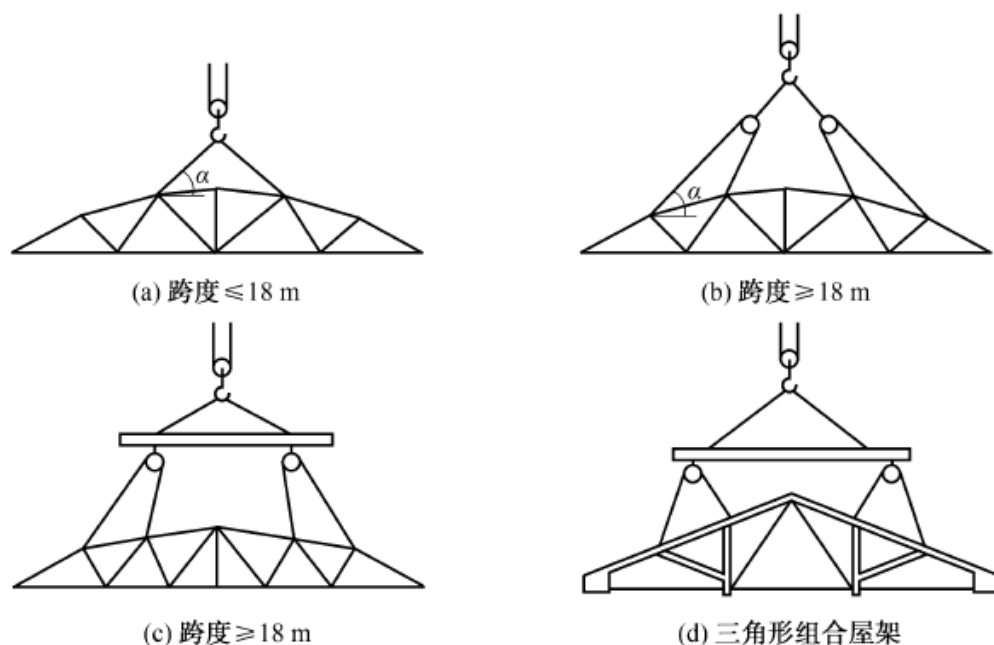


图 11.31 屋架的绑扎

11.3.2 构件吊升方法、技术要求及起重机械的选择



②屋架的扶直与就位。

单层工业厂房的屋架一般均在施工现场预制，因此，在吊装前须将屋架扶直，并吊放到设计规定的位置就位。按起重机与屋架的相对位置不同，屋架扶直可分正向扶直和反向扶直两种。

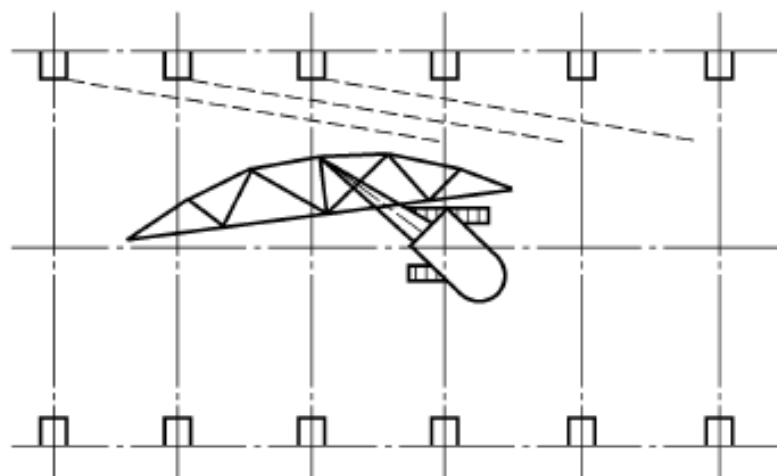
a.正向扶直(forward stack)。

起重机位于屋架下弦杆一侧，以吊钩对准屋架上弦中央，收紧吊钩后，略升起机臂使屋架脱模，然后起重机升钩并起臂使屋架绕下弦缓慢转为直立状态，如图11.32 (a) 所示。

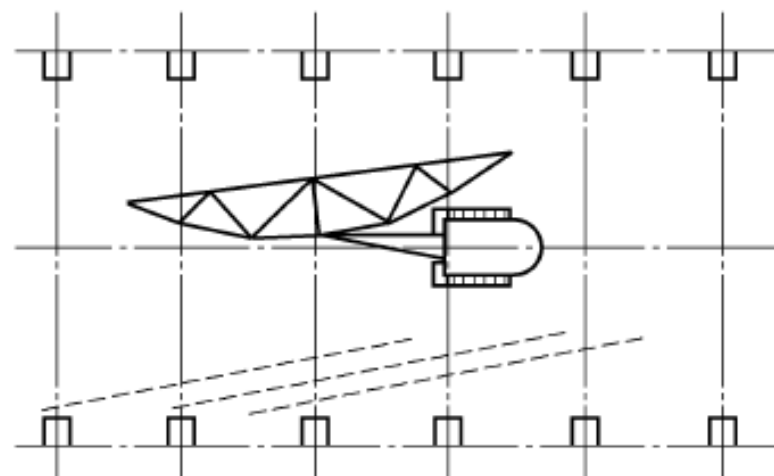
b.反向扶直(inverse stack)。

起重机位于屋架上弦杆一边，以吊钩对准上弦中央，收紧吊钩，然后升钩并降臂，使屋架绕下弦缓慢旋转为直立状态，如图11.36 (b) 所示。

11.3.2 构件吊升方法、技术要求及起重机械的选择



(a) 正向扶直



(b) 反向扶直

图 11.32 屋架的扶直与就位

11.3.2 构件吊升方法、技术要求及起重机械的选择



③ 屋架的吊升、对位和临时固定。

屋架吊升是先将屋架吊离地面300~500 mm，然后吊至安装位置下方，再升钩将屋架吊至超过柱顶300 mm，随后将屋架缓慢降至柱顶，进行对位。屋架对位应以建筑物的定位轴线为准，对位前，应事先将建筑物轴线用经纬仪投放至柱顶。对位后，立即进行临时固定，然后脱掉起重机械吊钩。

第一榀屋架的临时固定一般用四根缆风绳从两侧拉牢，如抗风柱已经设立并牢固可靠，亦可将屋架与抗风柱连接牢固；第二榀屋架及以后的屋架用工具式支撑（如屋架校正器）临时固定在前一榀屋架上，每榀屋架至少需要两个工具式支撑进行临时固定，如图11.33所示。当屋架经校正，最后固定并安装了若干块大型屋面板后，才可将支撑取下。

11.3.2 构件吊升方法、技术要求及起重机械的选择

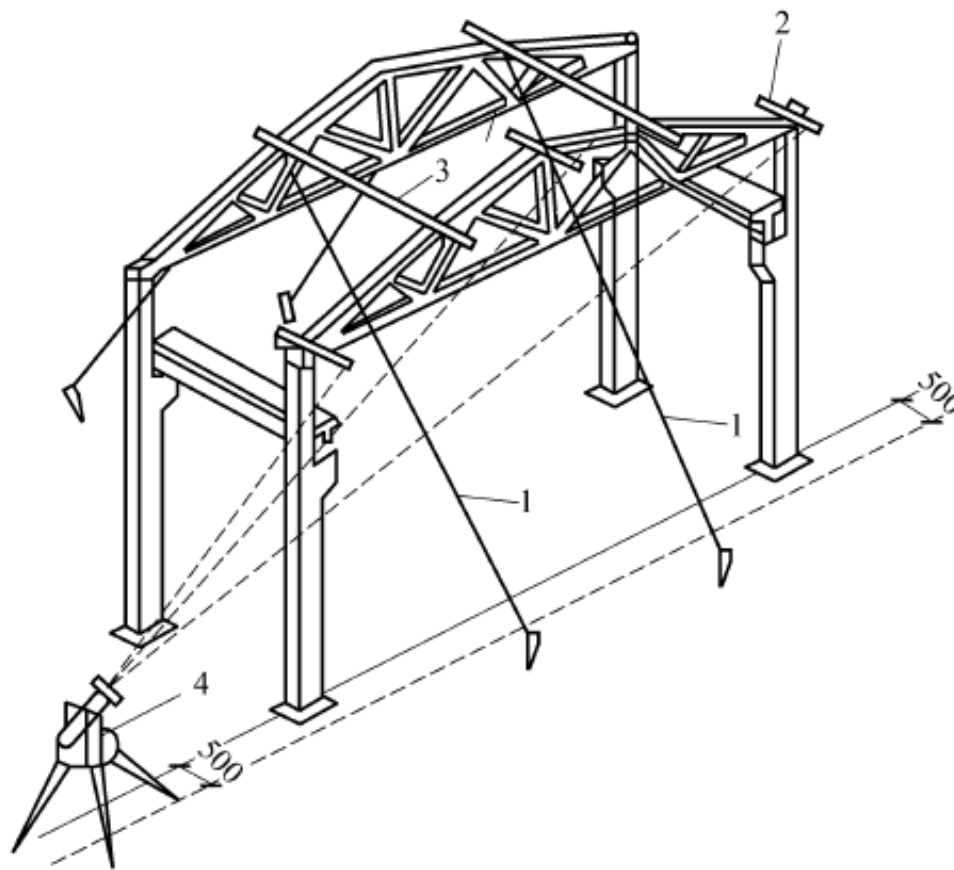


图 11.33 屋架校正与临时固定

1—缆风绳；2—卡尺；3—屋架校正器；4—经纬仪

11.3.2 构件吊升方法、技术要求及起重机械的选择



④ 屋架的校正和最后固定。

屋架经过对位和临时固定后，即可对屋架进行校正，主要校正屋架的垂直度。施工验收规范规定：屋架上弦在跨中对通过两支座中心垂直面的偏差不得大于 $h/250$ (h 为屋架高度)。可采用经纬仪或垂球进行检查，工程中常采用卡尺配合经纬仪或垂球的方法进行检查、校正。采用经纬仪检查、校正时，首先在屋架上弦安装3个卡尺，一个安装在上弦中点附近，另两个分别安装在屋架的两端。然后自屋架几何中心向外量出500 mm，并在卡尺上做出标志。再在距屋架横向定位轴线同样距离(500 mm)处设置经纬仪，用其检查3个卡尺上的标志是否在同一垂直面上，如图11.33所示。用垂球检查屋架垂直度偏差时，亦是首先在屋架上弦安置3个卡尺，但卡尺上标志至屋架几何中心线的距离取300 mm。然后在屋架两端的卡尺的标志间拉一通线，自位于屋架上弦中心卡尺的标志处向下挂一垂球，

11.3.2 构件吊升方法、技术要求及起重机械的选择



检查3个卡尺标志是否在同一垂直面上。如若屋架垂直度偏差超出规定数值，可通过转动工具式支撑上的螺栓加以校正。经校正无误后，立即用电焊焊牢以最后固定，施焊时要求在屋架两侧同时对角施焊，以免焊缝收缩导致屋架倾斜。

(4) 屋面板的安装

屋面板一般四角预埋有吊环，用吊钩钩住吊环，即可进行吊装。为充分发挥起重机械的起重能力，屋面板可采用叠吊的方法，即数块板同时起吊，如图11.34所示。屋面板吊装时，应使四根吊索长度相等，确保屋面板保持水平起吊。屋面板的安装顺序为自檐口两边左右对称地逐块铺向屋脊，以避免屋架承受半边荷载造成受力不均，以利于屋架的稳定。屋面板对位、校正后，应立即用电焊与屋架固定，要求至少有三个角与屋架预埋铁件焊牢。

11.3.2 构件吊升方法、技术要求及起重机械的选择



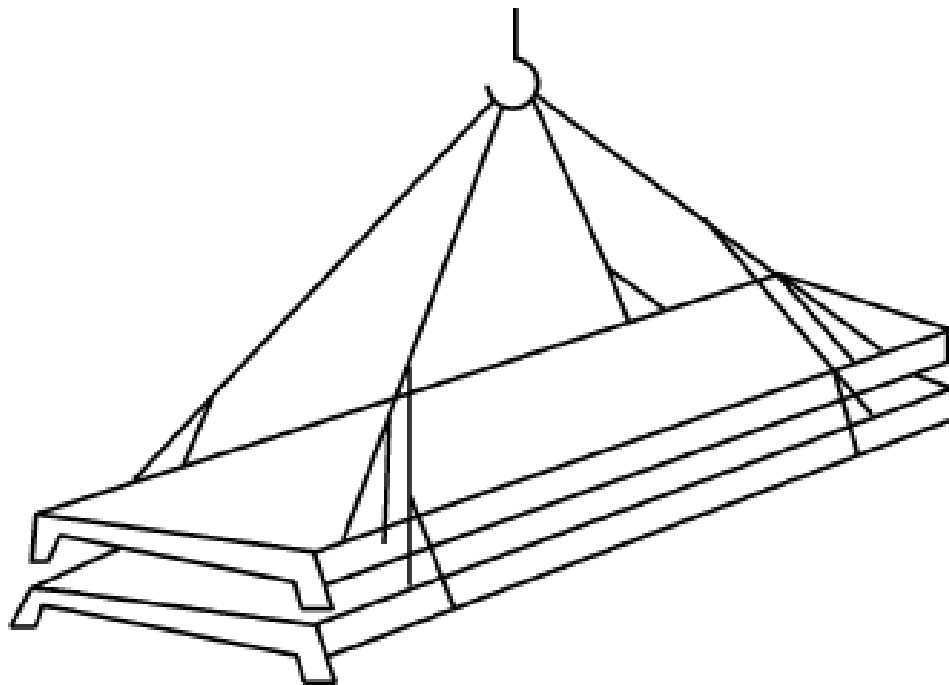
检查3个卡尺标志是否在同一垂直面上。如若屋架垂直度偏差超出规定数值，可通过转动工具式支撑上的螺栓加以校正。经校正无误后，立即用电焊焊牢以最后固定，施焊时要求在屋架两侧同时对角施焊，以免焊缝收缩导致屋架倾斜。

11.3.2 构件吊升方法、技术要求及起重机械的选择



(4) 屋面板的安装

屋面板一般采用起重机械吊升，如图11.34所示。为充分发挥起重机械吊，如图11.34所示，屋面板保持水平起吊，以避免屋面板对位、校正后与屋架预埋铁件焊牢。



为充分发挥起重机械吊，如图11.34所示，屋面板保持水平起吊，以避免屋面板对位、校正后与屋架预埋铁件焊牢。

图 11.34 屋面板叠吊

11.3.2 构件吊升方法、技术要求及起重机械的选择



(5) 天窗架的安装

天窗架可与屋架拼装成整体一起吊装，也可单独吊装。天窗架单独吊装时应在其两侧的屋面板吊装完成后进行，其吊装方法与屋架基本相同。

11.3.2 构件吊升方法、技术要求及起重机械的选择



3. 起重机械的选择

(1) 起重机械类型的选择

结构安装使用的起重机械类型，主要根据厂房的跨度、构件重量、安装高度以及施工现场条件和当地现有（或施工单位自有）起重设备等因素确定。对一般中小型厂房，通常选用自行式起重机(如履带式起重机)，在缺少自行式起重机械的地方，也可选用独脚拔杆、悬臂拔杆等桅杆式起重机械；对于大跨度重型工业厂房，一般应选用大型自行式起重机以及塔式起重机与其他起重机械配合使用；当选用一台起重机无法完成吊装工作时，可选用两台起重机抬吊。

11.3.2 构件吊升方法、技术要求及起重机械的选择



(2) 起重机械型号的选择

起重机械的类型确定以后，还要进一步确定起重机械的型号。起重机械的型号要根据构件尺寸、重量和安装高度等确定。所选起重机的三个工作参数：起重量 Q 、起重高度 H 和起重回转半径 R 均应满足结构吊装的要求。

①起重量：所选起重机的起重量（hoisting capacity）必须大于或等于所吊装构件的重量与索具重量之和，即

$$Q \geq Q_1 + Q_2$$

式中 Q ——起重机的起重量（kN）；

Q_1 ——所吊构件的重量（kN）；

Q_2 ——索具的重量（kN）。

11.3.2 构件吊升方法、技术要求及起重机械的选择



②起重高度：所选起重机的起重高度（hoisting height）必须满足所吊装构件安装高

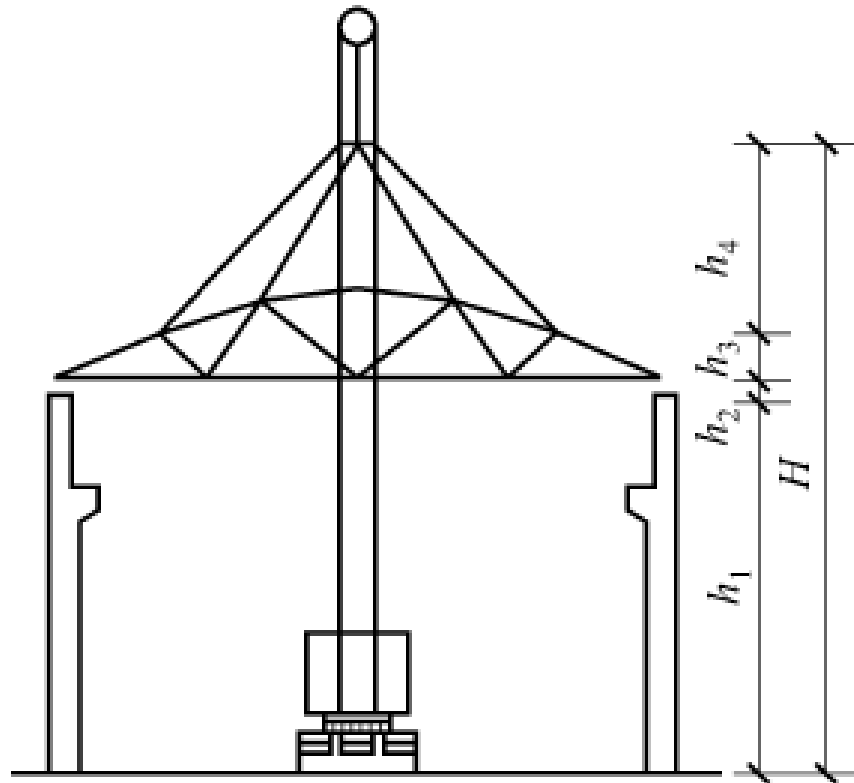
式中 H ——

h_1 ——安装

h_2 ——安装

h_3 ——绑

h_4 ——索具



m) ;

图 11.35 起重高度计算图

11.3.2 构件吊升方法、技术要求及起重机械的选择



③起重半径（swinging radius of crane）：起重半径的确定可分为两种情况。

a.一般情况下，当起重机可以不受限制地开到构件吊装位置附近进行吊装构件时，则对起重半径没有特殊要求，不需验算起重半径 R ，只需根据计算的起重量 Q 及起重高度 H ，查阅起重机工作性能表或性能曲线来选择起重机型号及起重臂长度 L ，并可查得在一定起重量 Q 及起重高度 H 下的起重半径 R ，作为确定起重机开行路线及停机点的依据。

b.某种特殊情况下，当起重机停机位置受到限制而不能直接开到构件吊装位置附近去吊装构件时，则需根据实际情况确定起吊时的最小起重半径 R 。然后根据起重量 Q 、起重高度 H 及起重半径 R 三个参数，查阅起重机工作性能表或性能曲线，以选择确定起重机的型号及起重臂长 L 。所选择确定的起重机型号需同时满足计算要求的起重量 Q 、起重高度 H 及起重半径 R 的要求。

11.3.2 构件吊升方法、技术要求及起重机械的选择



一般应根据所需的 Q_{min} 、 H_{min} 值，初步选定起重机型号，再按式(11.14)计算，如图11.36所示。

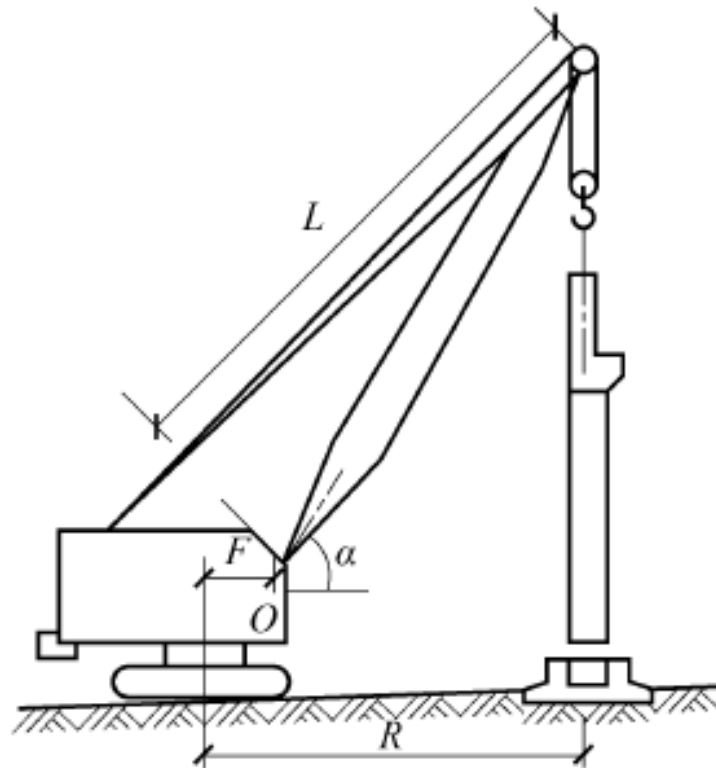


图 11.36 起重半径计算图

11.3.2 构件吊升方法、技术要求及起重机械的选择



$$R = F + L \cos \alpha$$

式中R——起重机的起重半径（m）；

F——起重臂枢轴中心至回转中心的距离，该值可由起重机技术参数表查知（m）；

L——起重机臂长度（m）；

α ——起重机臂的中心线与水平线之间的夹角（锐角）。

一般同一种型号的起重机有几种不同长度的起重臂，应选择能同时满足三个吊装工作参数的起重臂。当各种构件吊装工作参数相差较大时，可以选择几种不同的起重臂。如柱可选用较短的起重臂，而屋面结构则选用较长的起重臂。

11.3.2 构件吊升方法、技术要求及起重机械的选择



(3) 起重臂长度的确定

当起重机的起重臂需跨过已安装的结构吊装其他构件时，如跨过柱和屋架安装屋面板，为了不与屋架等构件碰撞，必须求出起重臂的最小长度，并依此及起重量 Q 和起重高度 H 查阅起重机性能表或性能曲线来选择起重机型号和起重臂长度 L 。

11.3.2 构件吊升方法、技术要求及起重机械的选择



求解起重臂最小长度的方法有数解法和图解法两种。

①数解法 (algebraic method)

图11.37 (a) 所示为求起重臂长度示意图，根据图示可知：

$$L=l_1+l_2=h_1 \sin \alpha + (a+g) / \cos \alpha$$

式中L——起重臂长度 (m) ；

h ——起重臂底铰至构件支座顶面的距离 ($h=h_1-E$) (m) ；

h_1 ——支座高度 (m) ；

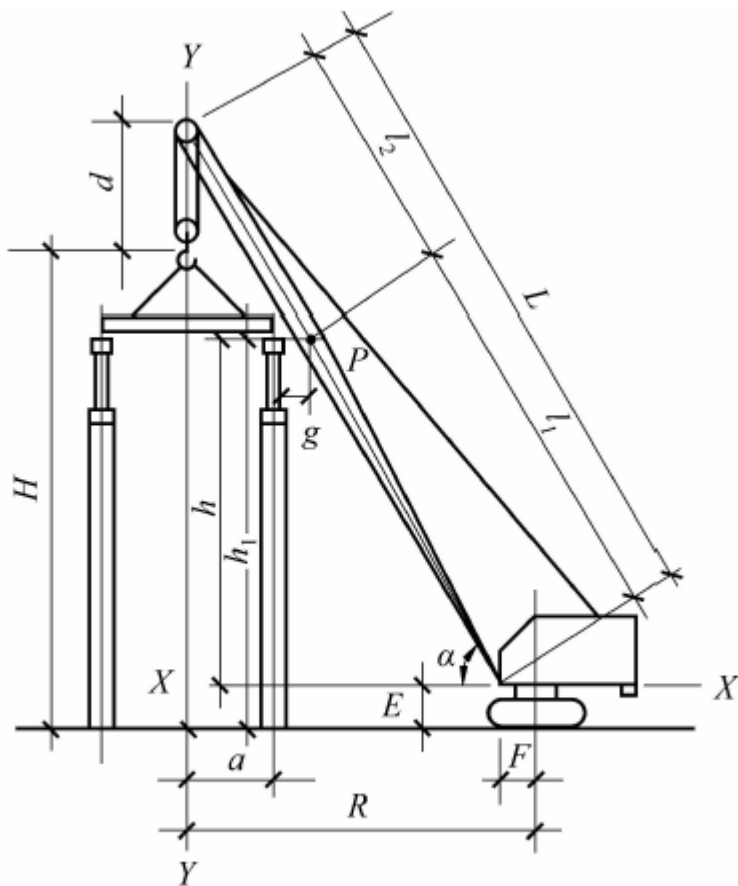
E ——起重机底铰距停机面的垂直距离 (m) ；

a ——起重机吊钩需跨过已装构件的水平距离 (m) ；

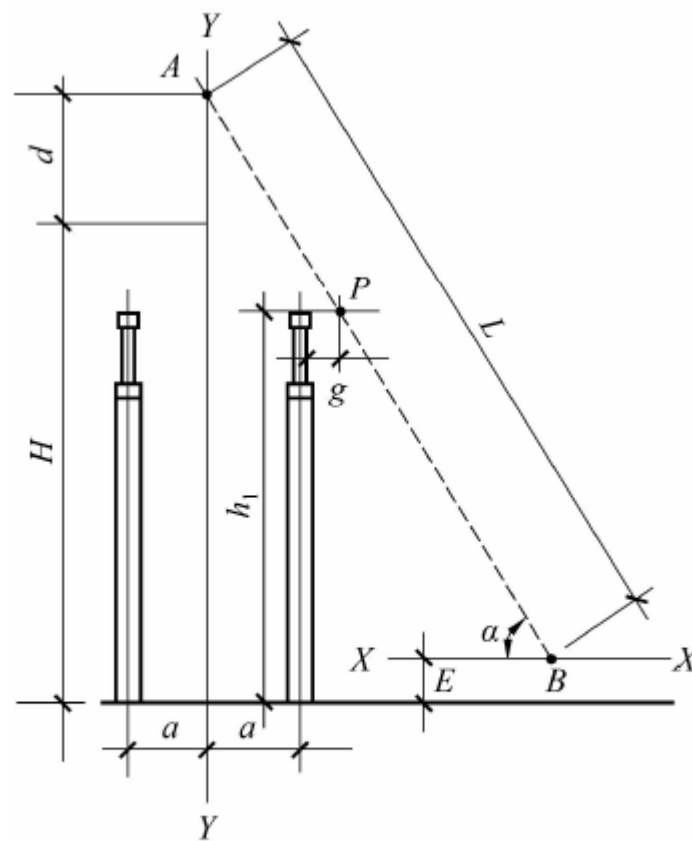
g ——起重臂轴线与已装构件间的水平距离，一般不小于1 m (m) ；

α ——起重臂的仰角。

11.3.2 构件吊升方法、技术要求及起重机械的选择



(a) 数解法



(b) 图解法

图 11.37 起重臂最小臂长计算图

11.3.2 构件吊升方法、技术要求及起重机械的选择



为了求得起重机臂最小臂长，可对式(11.15)进行微分，并使 $dLd\alpha = 0$ ，可得：

$$\alpha = \arctan \sqrt[3]{\frac{h}{a+g}}$$

将求得的 α 值代入式(11.15)，即可得到所需起重机臂的最小臂长 L_{\min} 。

11.3.2 构件吊升方法、技术要求及起重机械的选择



②图解法 (graphical method) 。

即用几何作图的方法求解起重机臂的最小臂长。如图11.37 (b) 所示，可按以下步骤进行。

a.按一定比例绘出所吊装厂房一个节间的纵剖面图，并画出起重机吊装屋面板时起重机吊钩所在位置的垂线Y-Y。

b.初步选定起重机型号，根据起重机底铰距停机面的垂直距离的E值，画出平行于停机面的水平线X-X。

c.从屋架顶面向起重机方向水平量出一距离 g ($g \geq 1 \text{ m}$)，可得P点。

d.按满足吊装要求的起重臂上定滑轮中心点的最小高度，在垂线Y-Y上定出A点(A点距停机面的距离为 $H+d$ ， H 为起重机吊装高度， d 为起重机上定滑轮距吊装高度顶点之间的最小距离)。

11.3.2 构件吊升方法、技术要求及起重机械的选择



e. 连接A、P两点并延长，其延长线与X-X相交于B点，线段AB即为起重臂的轴线长度。

f. 以P点为圆心，按顺时针旋转线段AB，则可得到若干条与Y-Y、X-X相交的线段（A₁B₁、A₂B₂、A₃B₃...），其中所得最小线段A'B'即为起重臂最小臂长L_{min}，与此同时可得相应线段A'B'与水平线夹角，即起重臂的仰角 α 。

根据数解法或图解法所求得的最小起重臂长度L_{min}为理论值，查阅起重机的性能表或性能曲线，从提供的几种臂长中选择一种臂长L，并满足 $L \geq L_{min}$ ，即为吊装屋面板时所选的起重机臂长度。

根据实际采用的L及相应的 α 值，代入式(11.14)即可计算起重半径R。

根据起重半径R和起重杆长L，复核起重量Q及起重高度H，即可确定起重机吊装屋面板时的停机位置。

11.3.2 构件吊升方法、技术要求及起重机械的选择



(4) 起重机数量的确定

起重机的数量根据厂房的安装工程量、工期要求和起重机的台班产量定额，按下式计算：

$$N = \frac{1}{TCK} \cdot \sum \frac{Q_i}{P_i}$$

式中N——起重机臂台数；

T——工期（d）；

C——每天工作班数；

K——时间利用系数，一般取0.8~0.9；

Q_i ——每种构件的吊装工程量（件或t）；

P_i ——起重机相应产量定额（件/台班或kN/台班）。

11.3.3 结构吊装方案



1. 分件吊装法

分件吊装法（unpackaged lifting）是指起重机在车间内每开行一次仅安装一种或两种构件。一般起重机分三次开行完成全部安装工作，其吊装顺序如图11.38所示。

第一次开行：吊装全部柱，并逐一进行校正和最后固定；

第二次开行：吊装全部吊车梁、连系梁和柱间支撑等；

第三次开行：分节间吊装屋架、天窗架、屋面板及屋面支撑等。

此外，在第三次开行前，即在屋架吊装前，须进行屋架的扶直就位、屋面板的运输堆放及起重杆接长等工作。

11.3.3 结构吊装方案

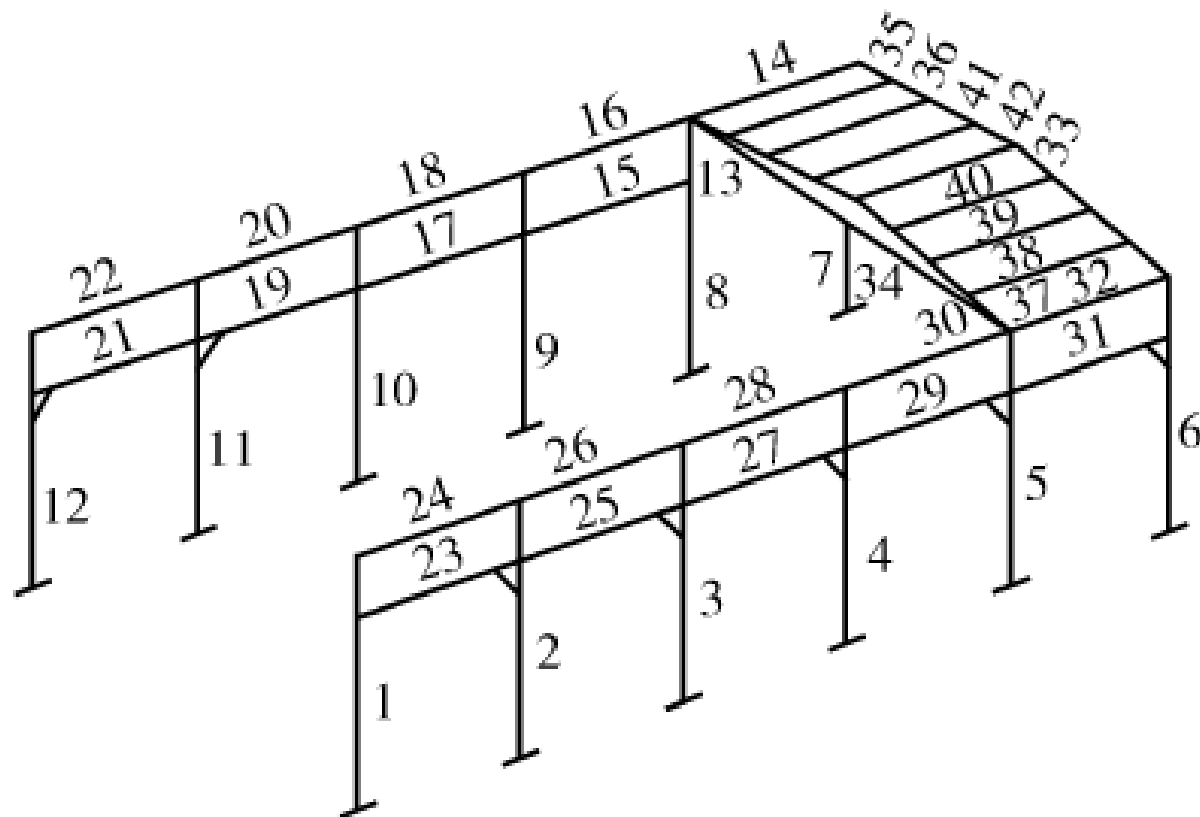


图 11.38 分件吊装法构件吊装顺序

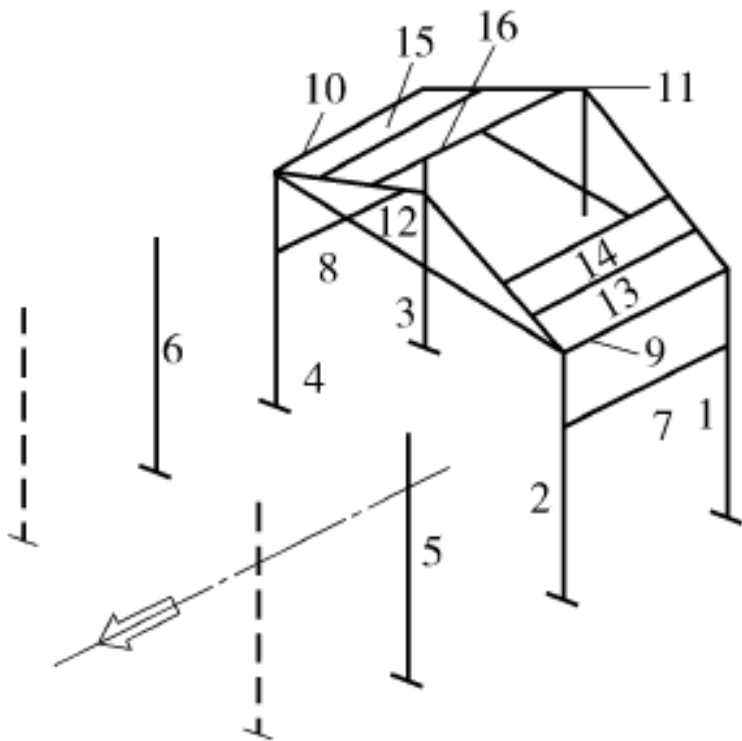
1、2、3…—构件依次吊装顺序

11.3.3结构吊装方案



2.综合吊装法

综合吊装法以节间为单位—其具体做法是：该节间的吊车梁在每一个停机位起重机移至下一



节一次开行中，如图11.39所示。定，然后吊装件。即起重机件吊装完毕后，完毕。

图 11.39 综合吊装法构件吊装顺序

1、2、3...—构件依次吊装顺序

11.3.3 结构吊装方案



综合吊装法具有开行路线短、停机点少的优点，并且吊装完一个节间，其后续工种即可进入该节间进行工作，能使各个工种进行交叉平行流水作业，有利于缩短安装工期。该吊装方法的缺点是需同时吊装各种类型的构件，操作程序复杂，吊装速度较慢，构件供应紧张和平面布置较复杂，构件校正比较困难，不能充分发挥起重机的能力，吊装效率低，不利于施工组织。

分件吊装法和综合吊装法各有优缺点，目前在结构吊装中，多采用分件吊装法吊装柱、柱间支撑，而采用综合吊装法吊装吊车梁、连系梁、屋架、屋面板等构件。起重机在吊装过程中，分两次开行吊装完毕全部各类构件。

11.3.4 构件平面布置



1. 构件平面布置的原则

构件的平面布置应遵循以下布置原则。

- ①各类构件应尽可能布置在本跨内，如因场地狭窄，布置困难时，亦可考虑将中小型构件布置在跨外便于吊装的部位。
- ②各类现场预制构件的布置应便于模板的支设以及混凝土的浇筑、振捣，对预应力混凝土构件还应考虑抽管、穿筋、灌浆等操作所需的空间。
- ③各类构件的布置方式应满足吊装工艺的要求，尽可能布置在起重机的起重半径内，以避免二次搬运及减少起重机负荷行走的距离以及起重臂的起伏次数，尤其对重型构件的布置。
- ④各种构件的布置均应尽可能少占空间，条件允许时，可考虑叠浇布置，要保证起重机械、运输车辆的道路畅通以及起重机械回转时机尾不得碰撞构件。
- ⑤各类构件的布置要考虑吊装时的朝向，避免在吊装时空中掉向，而影响吊

11.3.4构件平面布置



装进度和施工安全。

⑥各类构件均应布置在坚实的地基上，以确保构件预制质量，在新填土上布置构件时，新填土必须夯实，并采取有效措施防止地基下沉而影响构件质量。

11.3.4构件平面布置



2. 构件预制阶段的平面布置

(1) 柱的平面布置

柱的平面布置取决于场地大小、安装方法等因素。一般柱的重量较大，搬动困难，所以柱预制阶段的平面布置即为吊装阶段的平面布置。因此，柱在预制时的平面布置应按吊装阶段的排放要求进行布置。一般有斜向布置和纵向布置两种布置方式。

①柱的斜向布置。

当柱采用旋转法吊装，且施工场地不受限制时，可按绑扎点、柱脚中心、柱基中心三点共弧进行斜向布置，其预制位置可采用作图法按下列步骤确定，如图11.40所示。

11.3.4 构件平面布置

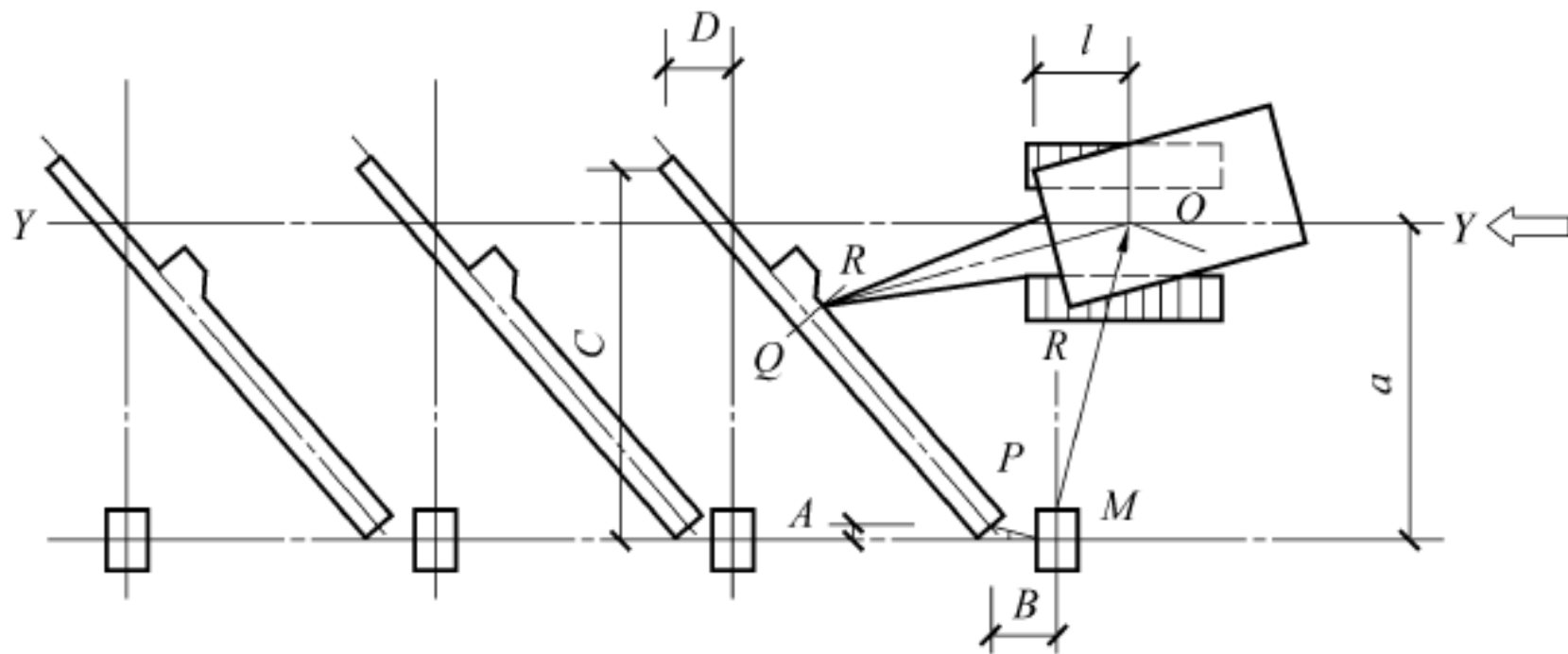


图 11.40 柱三点共弧斜向布置

11.3.4构件平面布置



a.确定起重机开行路线。

从厂房两端柱基杯口中心分别向起重机拟定行驶位置量出距离 a （使 $R_{\min} < a \leq R$ ，其中 R 为起重机吊装该柱时的相应的起重半径， R_{\min} 为所选型号起重机最小起重半径）并连线，可得平行于柱列纵向定位轴线的起重机开行路线Y-Y。

b.确定起重机的停机位置。

以基础杯口中心 M 为圆心，以 R 为半径画弧交于起重机开行路线Y-Y上一点 O ， O 点即为起重机吊装该柱的停机位置。

11.3.4构件平面布置



c.确定柱的预制平面位置。

按照三点共弧的原则，确定柱平面布置的步骤如下：首先，以停机位置O为圆心、以OM为半径画弧，在靠近柱基的弧上取一点P作为柱脚中心；其次，以P为圆心，以柱脚到绑扎点的距离为半径画弧，与以停机位置O为圆心、以OM为半径所画弧相交于点Q，点Q即为柱吊装时的绑扎位置；再次，连接点P、点Q并向两边延长，即得柱的预制位置中心线；最后，以直线PQ为基准画出柱预制时的模板位置图，并标出柱顶、柱脚与柱列纵横轴线的距离(A、B、C、D)，以作为模板支设的依据。

在确定柱的平面布置时，有时由于场地的限制或柱身较长，无法做到三点共弧，此时亦可按照两点共弧的原则进行布置，具体布置步骤可参照三点共弧，如图11.41所示。布置时使柱脚与柱基杯口中心在起重机半径的圆弧上，绑扎点位于弧外。在吊装柱时，首先采用较大的起重半径R'吊起柱，同

11.3.4 构件平面布置



时升起起重臂，当起重半径由 R' 变为 R 后，停止升臂，再按旋转法起吊。

在布置柱时应注意牛腿的朝向问题，确保柱吊装后，其牛腿的朝向符合设计要求。因此，当柱在跨内预制或就位时，牛腿应朝向起重机械；若柱在跨外预制或就位时，则牛腿应背向起重机。

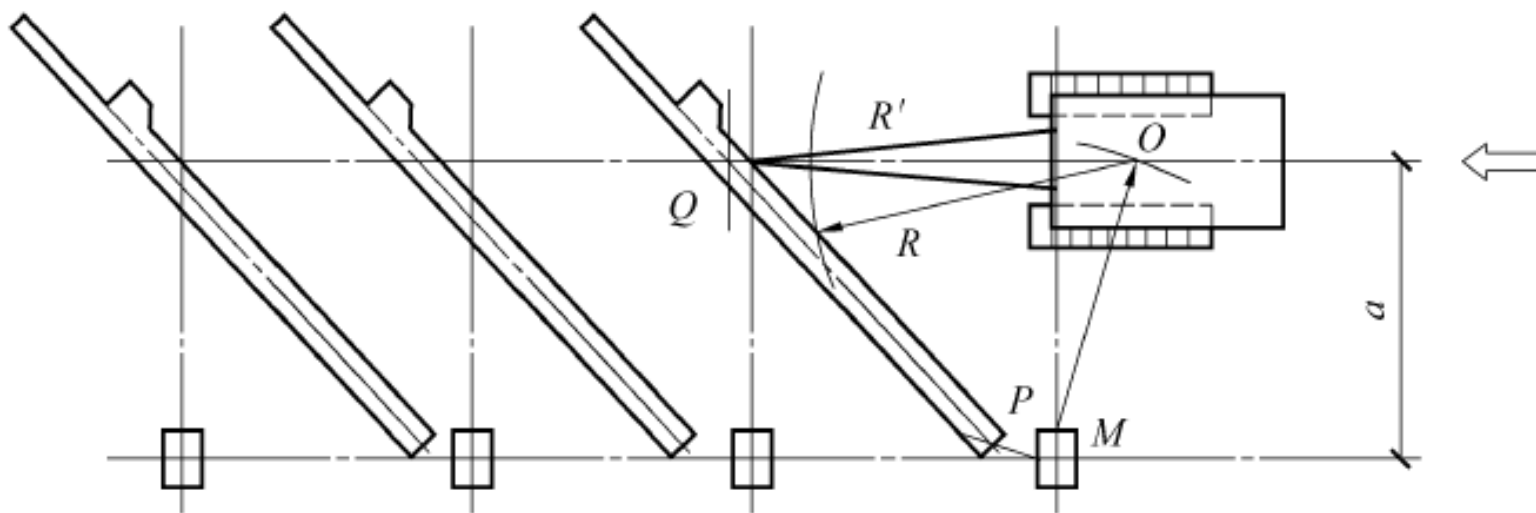


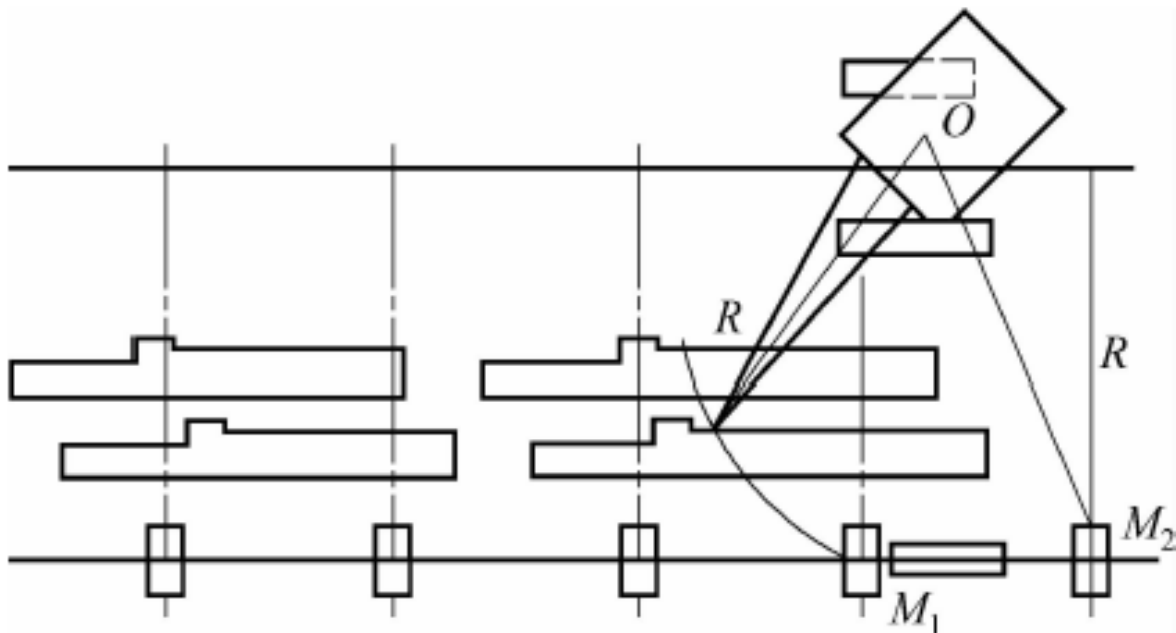
图 11.41 柱两点共弧斜向布置

11.3.4 构件平面布置



② 柱的纵向布置。

当柱采用滑行法吊装时，可以采用绑扎点、柱基中心两点共弧进行纵向布置，具体在场地、构件制作、运输、起吊时穿销、涂刷隔离剂、于起吊时穿销、起重机F、OM1=OM2



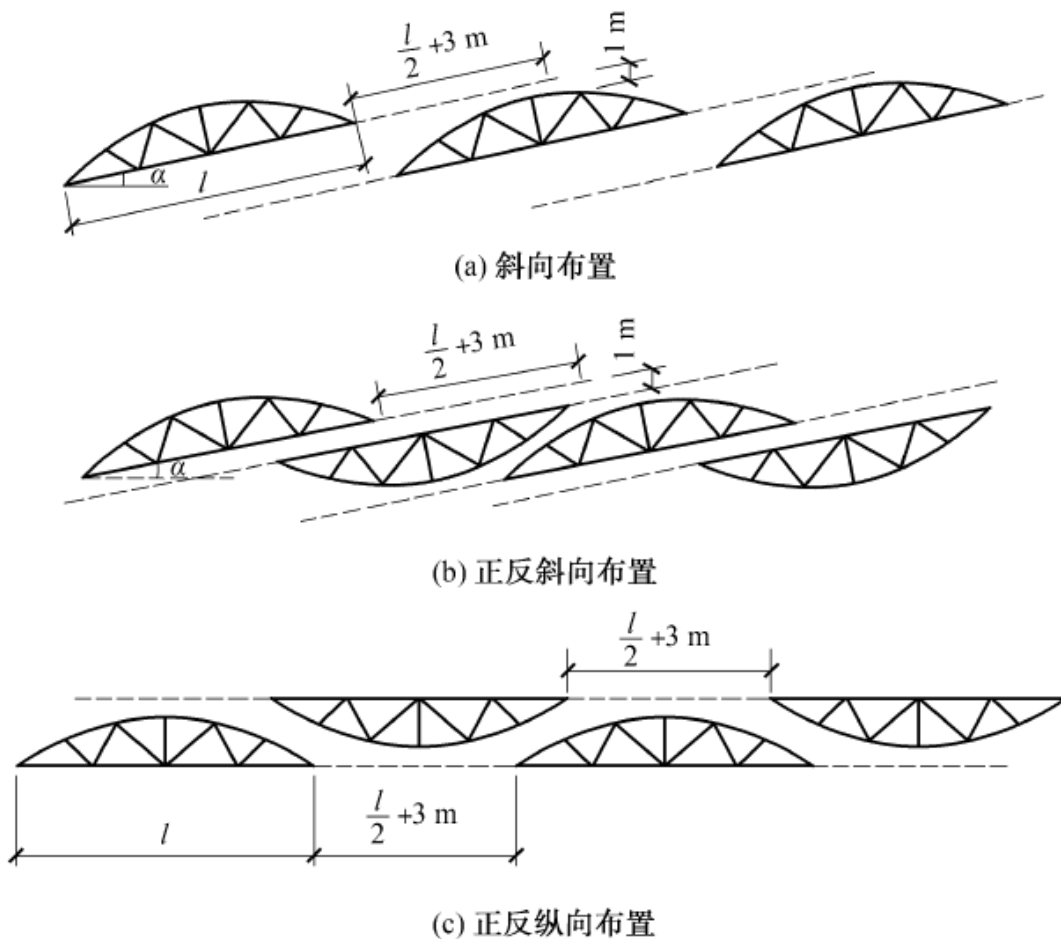
具有节约、排成一列时，层间应砂孔，以便线上，并使

图 11.42 柱两点共弧纵向布置

11.3.4 构件平面布置



(2) 屋架为节间布置方式所示。



用的
..43

图 11.43 屋架的平面布置

11.3.4 构件平面布置



在三种布置方式中，斜向布置便于屋架的扶直排放，应优先考虑采用，当施工场地受限制时，才考虑采用正反斜向布置或正反纵向布置。屋架在预制布置时，每叠屋架之间应留约1 m的间距，以方便屋架模板的支设及混凝土的浇筑。如为预应力混凝土屋架，需在屋架一端或两端留出抽管及穿筋的空间，图11.43中虚线即表示预应力屋架抽管及穿筋所需的长度。屋架斜向布置时，下弦杆与厂房纵轴线的夹角 α 宜为 $10^\circ \sim 20^\circ$ 。

在布置屋架的预制位置时，还应考虑到屋架扶直就位的要求和屋架扶直的先后次序，先扶直的屋架放在上层；对屋架两端朝向及预埋件的位置，亦需检查确定并做标记。

11.3.4构件平面布置



(3)吊车梁的平面布置

当吊车梁放在现场预制时，可布置在柱基附近顺纵向轴线或略作倾斜布置，也可穿插在柱的空当处预制，如运输条件允许，也可在场外集中预制，吊装时再运至现场。

11.3.4 构件平面布置



3. 构件吊装阶段的平面布置

柱在现场预制时已按吊装阶段的就位要求进行布置，因此当柱的混凝土强度达到设计要求后，即可进行吊装。所以，构件吊装阶段的平面布置是指柱吊装完毕后，其他构件的就位位置，主要包括屋架的就位、吊车梁、连系梁、屋面板的运输堆放等。

(1) 屋架的就位

屋架扶直后应立即吊放至预先设计的位置进行就位。屋架的就位方式有两种：一种为靠柱边斜向就位，另一种是靠柱边纵向就位，前者用于跨度及重量较大的屋架，后者用于重量较轻的屋架。

11.3.4 构件平面布置



① 屋架的斜向就位。

屋架的斜向就位可按以下步骤确定其就位位置，如图11.44所示。

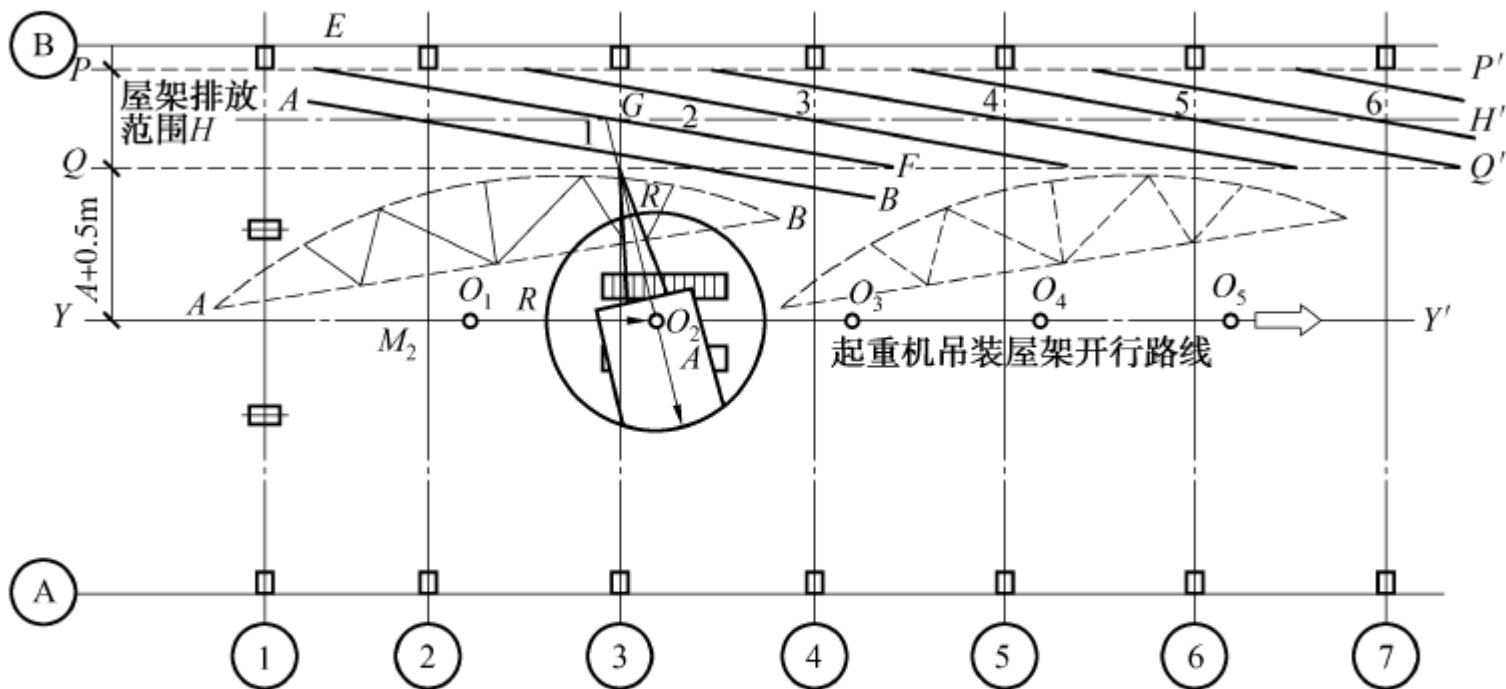


图 11.44 屋架的斜向就位

(虚线为屋架扶直前位置)

11.3.4构件平面布置



a.确定起重机安装屋架时的开行路线及停机位置。

在吊装屋架时，起重机一般沿跨中开行，故在跨中画出开行路线Y-Y'。再以即将吊装的某屋架轴线(如②轴线)的屋架中点M2为圆心，以所选吊装屋架的起重机工作幅度R为半径画弧，可交开行路线Y-Y'于O2，O2即为吊装②轴线屋架的停机位置。

11.3.4 构件平面布置



b. 确定屋架的就位范围。

屋架一般靠柱边就位，但距柱边不应小于0.2 m，为此定出屋架就位范围的外边界P-P'线并使其距柱边净距不小于0.2 m。起重视吊装屋架时，机身需要回转，设起重机尾部至机身回转中心的距离为A，则在距开行路线为(A+0.5)m的范围内，不宜布置屋架和其他构件。据此，可确定屋架就位范围的内边界Q-Q'线，在内外两条边界线P-P'和Q-Q'之间的区域，即为屋架的就位范围。如若厂房跨度较大，此范围过宽时，可根据需要适当缩小。

11.3.4构件平面布置



c.确定屋架就位的位置。

当根据需要确定屋架就位范围后，作内外边界线P-P'和Q-Q'的中心线H-H'。屋架就位后，使其中点均应位于H-H'线上。现以吊装②轴线屋架为例，来确定其就位位置：以停机位置O₂为圆心，以吊装屋架的起重机工作幅度R为半径作弧，交H-H'线于G点，G点即②轴线屋架就位时的中点位置。然后以G为圆心，以屋架跨度的一半为半径作弧，分别交内外边界线P-P'、Q-Q'于E、F两点，连接点E、F，线段E-F即为②轴线屋架的就位位置。其他屋架的就位位置可以此类推。①轴线的屋架由于已安装了抗风柱，可灵活布置，一般需退至②轴线屋架就位位置附近就位。

11.3.4 构件平面布置



② 屋架的纵向就位。

屋架的纵向就位，一般以4~5榀屋架为一组，靠柱边顺纵向定位轴线排列，屋架之间的净距不小于0.2 m，相互之间用铁丝及支撑拉紧撑牢。每组屋架之间需留约3 m的距离作为横向通道。为避免在已装屋架下绑扎和吊装屋架，防止屋架吊起时与安装好的屋架碰撞，每组屋架就位的中心可布置在该组屋架倒数第二榀安装轴线之后约2 m处，如图11.45所示。

11.3.4 构件平面布置

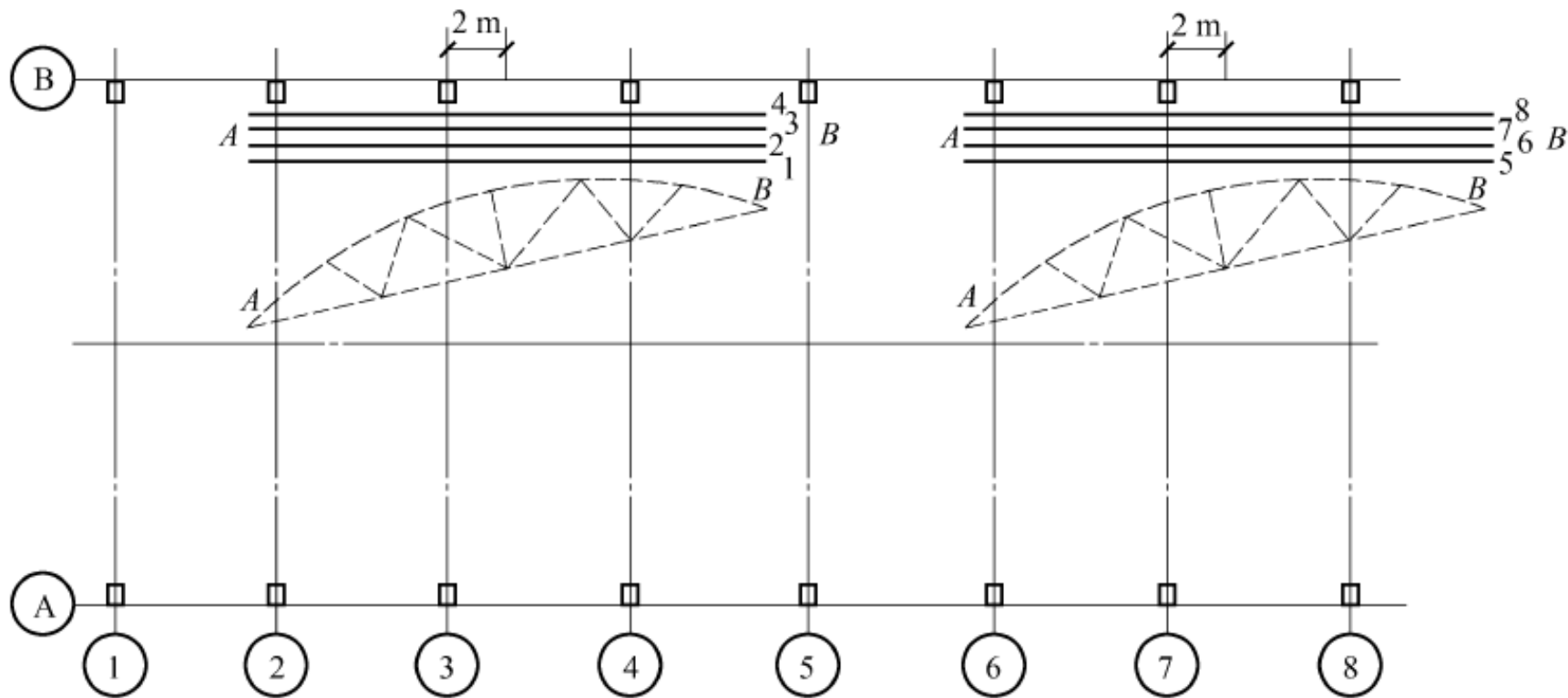


图 11.45 屋架的纵向就位
(虚线为屋架扶直前位置)

11.3.4构件平面布置



(2)吊车梁、连系梁、屋面板的运输堆放

钢筋混凝土排架结构单层厂房除柱、屋架外，其他构件如吊车梁、连系梁、屋面板等均在预制厂或工地附近预制场制作，然后运至现场就位吊装。构件运至现场后，应按施工组织设计所规定的位置，按编号及构件吊装顺序进行集中堆放。梁式构件的叠放不宜超过两层，大型屋面板叠放不宜超过8层。

吊车梁、连系梁的就位位置，一般在其吊装位置的柱列附近，跨内跨外均可；也可以从运输车辆上直接吊装至设计位置，而不需在现场堆放。

屋面板的就位位置，需根据吊装屋面板时所选起重机半径确定，一般靠柱边堆放，跨内跨外均可，当在跨内就位时，应向后退3~4个节间堆放，如在跨外就位时，应向后退1~2个节间堆放。

11.3.5 起重机械开行路线



1. 柱吊装时起重机械开行路线

当柱吊装时，根据厂房跨度大小、柱的尺寸及重量和起重机械性能，起重机械可以沿着跨中开行，也可以沿着跨边开行。

(1) 当 $R \geq L/2$ ，且 $R < \sqrt{(L/2)^2 + (b/2)^2}$ 时

起重机械宜沿跨中开行，每个停机位置可吊装某跨两根柱，此时停机位置位于以该停机位置所吊装两柱基础中心为圆心、以工作幅度 R 为半径的圆弧与跨中开行路线的交点上，如图11.46 (a) 所示。

(2) 当 $R \geq \sqrt{(L/2)^2 + (b/2)^2}$ 时

起重机械亦宜沿跨中开行，每个停机位置可吊装相邻两跨四根柱，此时停机位置位于该停机位置所吊装四根柱基础对角连线的交点上，如图11.46 (b) 所示。

11.3.5 起重机械开行路线



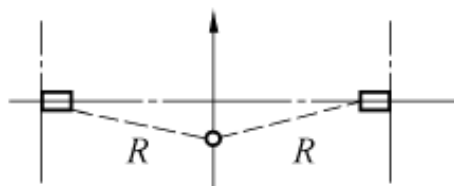
(3) 当 $R < L/2$ ，且 $R < \sqrt{a^2 + b^2}$ 时

起重机械宜沿跨边开行，每个停机位置可吊装一根柱，此时停机位置比较灵活，可视现场情况确定，如图11.46(c)所示。

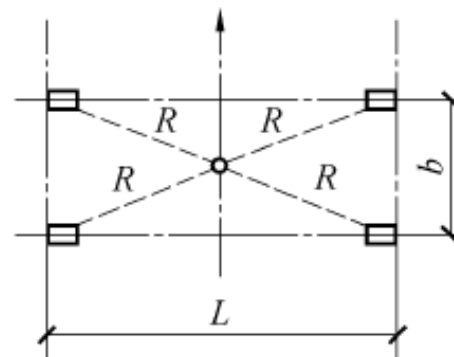
(4) 当 $R < L/2$ ，且 $R \geq \sqrt{a^2 + b^2}$ 时

起重机械亦宜沿跨边开行，每个停机位置可吊装相邻两根柱，此时停机位置位于以该停机位置所吊装两相邻柱基础中心为圆心、以工作幅度 R 为半径的圆弧与跨边开行路线的交点上，如图11.46(d)所示。

11.3.5 起重机械开行路线



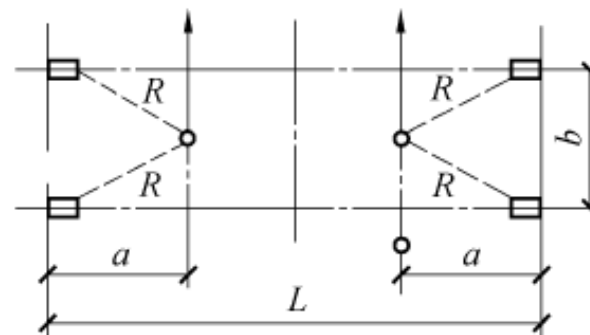
(a) 跨中开行



(b) 跨中开行



(c) 跨边开行



(d) 跨边开行

图 11.46 柱吊装起重机开行路线

11.3.5起重机械开行路线



2. 吊车梁、连系梁吊装时起重机械开行路线

吊车梁、连系梁根据就位位置的不同，起重机械可沿跨内跨边开行或跨外跨边开行。

3. 屋架、屋面板吊装时起重机械开行路线

当吊装屋架、屋面板等屋面构件时，起重机械通常沿跨中开行。

在制定吊装方案时，一方面应尽可能使起重机的开行路线最短，在吊装各类构件的过程中，做到互相衔接，不跑空车；另一方面开行路线尽量能多次重复使用，以减少钢板、枕木等设施的铺设，条件允许时，要充分利用附近的永久性道路作为起重机的开行路线。

11.4

钢结构单层工业厂房结构安装方案



11.4.1 钢结构制作准备工作



1. 施工详图的设计

钢结构构件的制作、加工必须以施工详图为依据，而施工详图则应根据设计单位提供的设计图进行绘制。一般设计单位提供的设计图是不能直接用来加工制作钢构件，而是要考虑加工工艺，如公差配合、加工余量、焊接控制等因素后，在设计单位提供的原设计图的基础上绘制施工详图（又称加工制作图）。施工详图设计一般由加工单位负责进行。

11.4.1 钢结构制作准备工作



2. 审查图纸

图纸审查主要是对设计单位编制的设计图及专业厂家或施工单位编制的施工详图进行全面审查。

图纸审查后要做技术交底准备，技术交底内容主要有：根据构件尺寸考虑原材料对接方案和接头在构件中的位置；考虑总体的加工工艺方案及重要的安装方案；对构件的结构不合理处或施工有困难的地方，要与需方或者设计单位做好变更签证的手续；列出图纸中的关键部位或者有特殊要求的地方，加以重点说明。

11.4.1 钢结构制作准备工作



3. 备料和核对

为了尽快备齐各种所需材料，一般应在工艺详图设计的同时进行，如此就不会因材料耽误施工。备料时根据施工图纸材料表计算出各种材质、规格、材料净用量，再加一定数量的损耗提出材料预算计划。工程预算一般可按实际用量所需的数值再增加10%进行提料和备料。备料一般分为定尺材料和非定尺材料，定尺材料需要进行排版，而非定尺材料只需要计算重量。

核对来料的规格、尺寸和重量，并仔细核对材质；如进行材料代用，必须经过设计部门同意。

11.4.1 钢结构制作准备工作



4. 工艺准备

(1) 有关试验

一般钢结构构件在制作、安装前，需对所用材质进行检验试验，以确保构件的制作质量。钢结构安装工程中经常涉及的有关试验有基本材料复验、连接材料复验和工艺试验（包括焊接试验、摩擦面的抗滑移系数试验和工艺性试验）。

(2) 工艺规程编制

工艺规程是钢结构制作中主要的和根本性的指导性文件，也是生产制作中最可靠的质量保证措施。钢结构工程施工前，应按施工图纸及技术文件的要求，编制出科学合理的施工工艺规程，用于指导、控制施工过程。工艺规程必须经过严格审批，一经制订并审批必须严格执行，不得随意更改。

11.4.1 钢结构制作准备工作



5 . 其他工艺准备

除了上述准备以外，还有单元划分、编制工艺流程表、工艺流程卡、配料与材料拼接、确定焊接收缩量及加工余量、工艺装备、加工工具准备等工艺准备工作。

6 . 组织技术交底

钢结构构件制作、加工前，上岗操作人员应进行培训和考核，特殊工种应进行资格确认，做到持证上岗，并充分做好各项工序的技术交底工作。技术交底按工程的实施阶段可分为两个层次：开工前的技术交底和投料加工前的技术交底。

11.4.1 钢结构制作准备工作



7. 生产场地布置

钢结构是由大量构件组成的，这些构件的制作、加工需要一定的加工场地，并进行合理的布置，以满足生产制作的需要。

11.4.2 钢结构构件加工制作要求与工艺流程、验收、运输、堆放、连接、防腐、涂装



1. 钢结构构件加工制作要求

钢结构构件的加工、制作是一项繁杂的技术工作，一般应在专业化的钢结构制造厂进行，并应严格按照施工详图和《钢结构工程施工规范》（GB 50755—2012）的要求进行加工、制作，并按照现行验收规范的规定进行验收。



11.4.2 钢结构构件加工制作要求与工艺流程、验收、运输、堆放、连接、防腐、涂装



2. 钢结构构件加工制作工艺流程

钢结构构件的加工、制作一般由专业厂家或承包单位完成，其加工、制作工艺流程如下：放样、号料、切割下料、矫正平直、边缘加工、制孔、拼装等。

(1) 放样

放样是根据钢结构构件施工详图或构件加工图要求的形状和尺寸，按照1:1的比例把产品或零部件的实形画在放样台或平板上，并核对图纸的安装尺寸和孔距，根据实样制作样板和样杆，作为号料、切割和制孔的依据。

(2) 号料

号料是采用经检查合格的样板(样杆)在钢板或型钢上画出零件的形状及切割、铣、刨、弯曲等加工线以及钻孔、打冲孔位置，并标出零件编号。

11.4.2 钢结构构件加工制作要求与工艺流程、验收、运输、堆放、连接、防腐、涂装



(3) 切割下料

切割下料就是将放样和号料的零件形状从原材料上进行下料分离。钢材的切割可以通过切削、冲剪、摩擦机械力和热切割来实现；常用的切割方法有气割、机械剪切和等离子切割三种。切割前，应将钢材切割区域表面的铁锈、污物等清除干净，以保持切割件的干净和平整；切割后，应清除熔渣和飞溅物。

(4) 矫正平直

为保证钢结构构件的制作及安装质量，必须对不符合标准材料、构件进行矫正平直。钢结构的矫正平直是指对表面不平整或变形较大的材料、构件通过外力或加热作用，使钢材较短部分的纤维伸长，或使较长的纤维缩短，迫使钢材变形，使材料或构件达到平直及一定几何形状的要求并符合技术标准的工艺方法。钢材矫正平直的内容有钢板的平直度、型钢的挠曲度以及翼缘对腹板的垂直度等。

11.4.2 钢结构构件加工制作要求与工艺流程、验收、运输、堆放、连接、防腐、涂装



(5) 边缘加工

钢结构构件加工制作时，对焊接坡口及加劲板、腹板、翼缘板等都需进行边缘加工。边缘加工的方法有刨边、铣边、铲边等。焊缝坡口可采用半自动、自动气割机坡口切割。焊接坡口加工尺寸的允许偏差应符合国家标准《气焊、焊条电弧焊、气体保护焊和高能束焊的推荐坡口》(GB 985.1—2008)和《埋弧焊的推荐坡口》(GB 985 2—2008)中的有关规定。

(6) 制孔

制孔是指按施工详图要求和《形状和位置公差 未注公差值》(GB/T 1184—1996)的标准在构配件或零件上成孔。当钢结构的连接节点采用螺栓连接或螺栓与焊接并用的连接时，钢构件制孔质量的好坏，直接影响到钢结构的安装精度以及安装的顺利与否，尤其对于柱和梁连接部位的孔群。根据成孔工艺的不同，制孔的方法有钻孔和冲孔两种。

11.4.2 钢结构构件加工制作要求与工艺流程、验收、运输、堆放、连接、防腐、涂装



(7) 拼装

拼装(assembly)是把加工制作完成并经矫正、检查合格的零件按照施工详图的要求拼装成单个构件。单个构件的大小应根据运输道路、现场条件、运输及安装机械设备能力与结构受力的允许条件来确定。



11.4.2 钢结构构件加工制作要求与工艺流程、验收、运输、堆放、连接、防腐、涂装



3 . 钢结构构件的验收、运输、堆放

(1) 构件的验收

钢构件加工制作完成后，应按照施工详图和《钢结构工程施工规范》(GB 50755—2012)的规定进行各环节验收。钢结构构件出厂时，应提供下列质量证明资料以供验收：产品合格证，施工图设计变更文件，制作过程中出现的技术问题处理协议文件，钢材、连接材料、涂装材料的质量证明或试验报告，焊接工艺评定报告，高强度螺栓摩擦面抗滑移系数试验报告，焊缝无损检验报告及涂层检测资料、土方构件检验记录，预拼装记录。由于是运输、吊装条件的限制及设计的复杂性，有时构件要分段出厂，为了保证工地安装的顺利进行，在出厂前须进行预拼装、构件发运和包装清单。

验收不合格或有关质量证明材料不齐全的构件严禁出厂。

11.4.2 钢结构构件加工制作要求与工艺流程、验收、运输、堆放、连接、防腐、涂装



(2) 构件的运输

- ①准备运输的构件，用油漆在显眼部位标出构件的重量及重心位置，重要部分要有有效的保护措施。
- ②大型或重型构件在运输前，应编制运输方案。
- ③构件运输时，应根据构件的长度、重量和断面形状选用车辆；构件在运输车辆上的支点、两端伸出的长度及绑扎方法均应保证构件不产生永久变形、不损伤涂层。构件装、卸车起吊时，必须严格按设计吊点起吊。

11.4.2 钢结构构件加工制作要求与工艺流程、验收、运输、堆放、连接、防腐、涂装



(3) 构件的堆放

①构件一般要堆放在工厂和现场的成品仓库或半成品仓库。构件堆放仓库地面应平整坚实，无水坑、冰层，并应排水通畅，设有良好的排水设施，同时有车辆进出的回路。

②构件应按种类、型号、安装顺序划分区域，插立标志牌。构件底层垫块要有足够的强度、刚度。不允许垫块有较大的变形，堆放高度应符合设计要求，以底层构件不产生永久变形为准，不得随意堆高。

③堆放过程中，如发现变形较大不合格的构件，则应严格检查，进行矫正，然后再堆放。不得把不合格的构件堆放在合格的构件中。

④对于已堆放好的构件，要派专人看护并汇总资料。建立完善的构件进出厂管理制度，严禁乱翻、乱移，并且应对已堆放好的构件进行适当保护，避免风吹雨淋、日晒夜露。

11.4.2 钢结构构件加工制作要求与工艺流程、验收、运输、堆放、连接、防腐、涂装



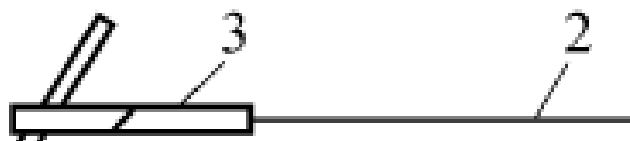
4 . 钢结构构件的连接

(1) 焊接连接

焊接连接(welded joint)是现代钢结构最主要的连接方式，它的优点是任何形状的结构都可用焊接连接，构造简单。焊接连接一般不需要拼接材料，省钢省工，而且能实现自动化操作，生产效率高。但是，焊缝质量易受材料、操作的影响。

钢结构的焊接方法最常用的有电弧焊（图11.48）、气体保护焊（图11.49）、自保护电弧焊、埋弧焊、螺柱焊接等。焊接连接的形式如图11.50所示。

11.4.2 钢结构构件加工制作要求与工艺流程、验收、运输、堆放、连接、防腐、涂装



1—电源；2—导线；3—夹具；4—焊条；5—电弧；
6—焊件；7—焊缝

11.4.2 钢结构构件加工制作要求与工艺流程、验收、运输、堆放、连接、防腐、涂装

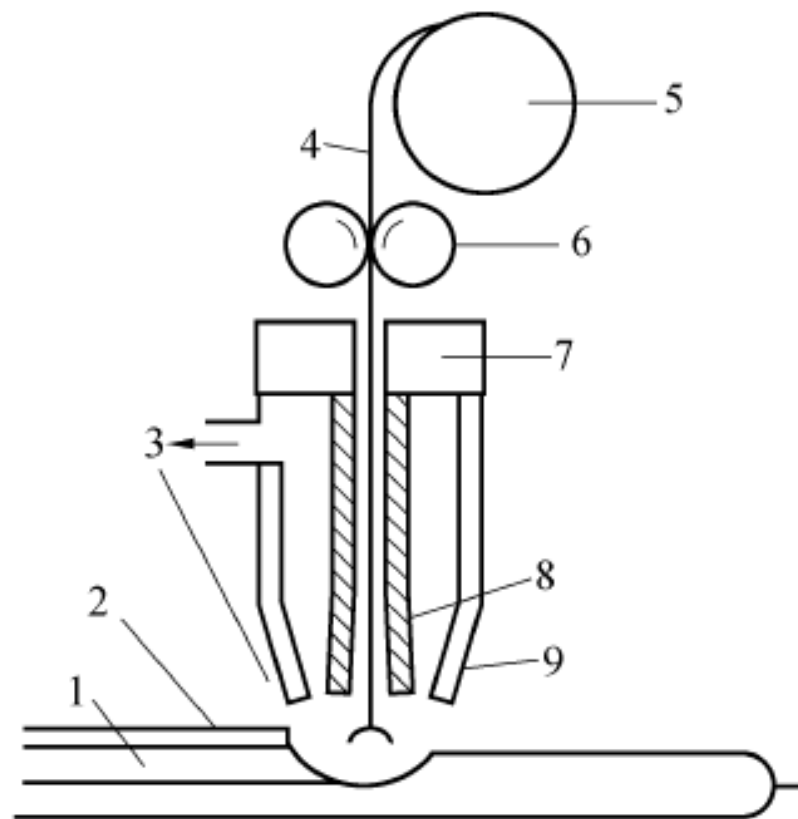


图 11.49 气体保护焊

1—熔敷金属；2—焊渣；3—保护气体；4—焊丝；
5—焊丝卷盘；6—送丝滚筒；7—焊枪；8—导电嘴；9—喷嘴

11.4.2 钢结构构件加工制作要求与工艺流程、验收、运输、堆放、连接、防腐、涂装

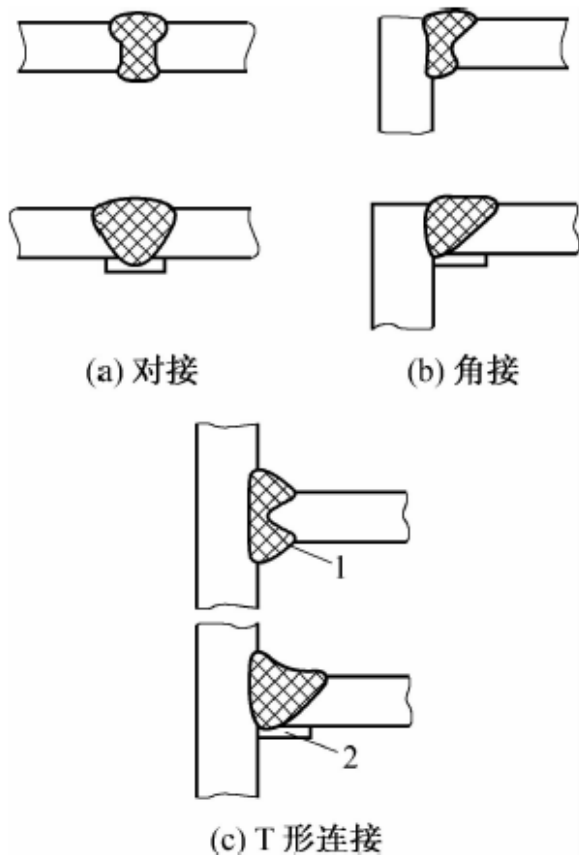


图 11.50 焊缝形式

1—焊缝；2—垫板

11.4.2 钢结构构件加工制作要求与工艺流程、验收、运输、堆放、连接、防腐、涂装



(2) 螺栓连接(bolted connection)

螺栓连接根据螺栓材质、加工精度、安装方法及工作原理的不同，分为普通螺栓连接和高强度螺栓连接。

① 普通螺栓连接。

普通螺栓连接(plain bolt connection)即将普通螺栓、螺母、垫圈和连接构件连接在一起形成的一种连接形式。

普通螺栓通常采用Q235钢材制成，其代号用字母M公称直径的毫米数表示。按照形式可分为六角头螺栓、双头螺栓、沉头螺栓等；按制作精度可分为A、B、C级三个等级。A、B级为精制螺栓，连接紧密，传力性能好，但制造、安装复杂；C级为粗制螺栓，传力性能稍差，但其制造、安装方便，价格较低，并能有效传递拉力。钢结构用连接螺栓，除特殊注明外，一般即为普通粗制C级螺栓。

11.4.2 钢结构构件加工制作要求与工艺流程、验收、运输、堆放、连接、防腐、涂装



普通螺栓连接时，应符合下列要求。

- a. 一般永久螺栓连接，螺栓头和螺母下面应放置平垫圈，以增大承压面积；螺栓头下面放置的垫圈一般不应多于2个，螺母头下的垫圈一般不应多于1个。
- b. 螺栓头和螺母应与结构构件的表面及垫圈紧密相贴。
- c. 对设计有要求防松动的螺栓、锚固螺栓应采用有防松装置的螺母或弹簧垫圈。
- d. 对于承受动荷载或重要部位的螺栓连接，应按设计要求放置弹簧垫圈。
- e. 对于工字钢、槽钢翼缘类型的螺栓连接，则应尽量使用斜垫圈，使螺母和螺栓头部的支撑面垂直于螺杆。
- f. 各种螺栓连接，从螺母一侧伸出的螺栓长度应保持不小于两个完整螺纹的长度；连接中使用螺栓的等级和材质应符合设计的要求。
- g. 普通螺栓的排列有并列和错列两种基本形式，螺栓排列时，螺栓间的间距既要考虑连接效果(连接强度和变形)，又要考虑螺栓的施工。

11.4.2 钢结构构件加工制作要求与工艺流程、验收、运输、堆放、连接、防腐、涂装



h. 普通螺栓连接对螺栓的紧固力没有要求，普通螺栓的紧固施工是以操作工的手感及连接接头的外形控制为准。为使连接接头中螺栓受力均匀，螺栓的紧固次序应从中间开始，对称向两头进行。对大型接头应采用复拧，即两次紧固方法，保证接头内各个螺栓能均匀受力。

11.4.2 钢结构构件加工制作要求与工艺流程、验收、运输、堆放、连接、防腐、涂装



② 高强度螺栓连接。

高强度螺栓连接(high strength bolt connection)根据受力性能的不同，可分为摩擦型连接、承压型连接和承拉型连接三种。其中摩擦型连接是目前钢结构广泛采用的连接形式。

高强度螺栓根据外形可分为大六角头和扭剪型两种；按性能等级可分为8.8级、10.9级、12.9级等。目前我国使用的大六角高强度螺栓有8.8级和10.9级两种；扭剪型高强度螺栓有10.9级一种。

大六角头高强度螺栓亦称扭矩型高强度螺栓，一个大六角头高强度螺栓连接副 (set of high strength bolt) 由一个螺栓、一个螺母和两个垫圈(螺头和螺母两侧各一个垫圈)组成，其紧固采用电动定扭矩扳手或指针式扭矩扳手施拧。

11.4.2 钢结构构件加工制作要求与工艺流程、验收、运输、堆放、连接、防腐、涂装



高强度螺栓连接时，应符合下列要求。

a. 高强度螺栓连接前，应对高强螺栓连接副实物和摩擦面进行检验和复验，高强度螺栓连接副应在同一包装箱中配套使用，不得互换，检验、复验合格后方可施工。

b. 高强度螺栓连接时，应先用临时螺栓或冲钉定位。严禁将高强度螺栓作为临时螺栓使用，以防止损伤螺纹引起扭矩系数的变化。

c. 高强度螺栓的穿入，应在结构对位调整后进行，其穿入方向应以施工方便为准，力求一致；安装时要注意垫圈的正反面，即螺母带圆台面的一侧应朝向垫圈有倒角的一侧；对于大六角头高强度螺栓靠近螺头一侧的垫圈，其有倒角的一侧应朝向螺头。

d. 高强度螺栓的安装应能自由穿入孔内，严禁强行穿入，以免损伤丝扣，如不能自由穿入时，应用钻头或绞刀扩孔或修孔，严禁气割扩孔。

11.4.2 钢结构构件加工制作要求与工艺流程、验收、运输、堆放、连接、防腐、涂装



e. 高强度螺栓连接中连接钢板的孔径应略大于螺栓直径，且必须采取钻孔成型，钻孔后的钢板表面应平整、孔边无飞边和毛刺，连接板表面应无焊接飞溅物、油污等。

f. 高强度螺栓连接螺栓在构件上排列布置的构造要求与普通螺栓的构造相同，但其孔距和边距除应符合要求外，还应考虑专用施工机具的操作空间。

g. 高强度螺栓的紧固，应分两次(初拧和终拧)拧固，对大型节点还应分初拧、复拧和终拧。初拧、复拧、终拧后要做出不同标记，以便识别和避免重拧或漏拧。扭剪型高强度螺栓连接副终拧后，应以目测尾部梅花头拧掉为合格；高强度大六角头螺栓连接副终拧完成1 h后，在48 h内进行终拧扭矩检验。

h. 高强度螺栓在终拧以后，螺栓丝扣外露应为2~3扣，其中允许有10%的螺栓丝扣外露1扣或4扣。

11.4.2 钢结构构件加工制作要求与工艺流程、验收、运输、堆放、连接、防腐、涂装



i. 高强度螺栓的紧固宜用电动扳手进行，扭剪型高强度螺栓初拧一般用60%~70%轴力控制，以拧掉尾部梅花卡头为终拧结束。对无法使用电动扳手的部位，则用测力扳手紧固，初拧扭矩值不得小于终拧扭矩值的30%。

11.4.2 钢结构构件加工制作要求与工艺流程、验收、运输、堆放、连接、防腐、涂装



(3) 各种连接方法的特点及适用范围

焊接连接、螺栓连接各有其特点，其特点和适用范围见表11.6。

表 11.6 焊接、螺栓连接的特点及适用范围

连接方法		特点	适用范围
焊接连接		(1) 构造简单,加工方便,易于自动化操作 (2) 不削弱构件截面,可节约钢材 (3) 对疲劳较敏感	除少数直接承受动力荷载的结构连接外,广泛用于工业及民用建筑钢结构中
普通螺栓连接	A级、B级	(1) 栓杆与孔壁间隙小,制造和安装较复杂,费工、费料 (2) 可承受拉力和剪力	用于有较大剪力的构件连接
	C级	(1) 栓杆与孔壁间隙较大,结构拆装方便 (2) 只能承受拉力 (3) 不易节约材料	用于经常拆卸或承受拉力的构件连接
高强度螺栓连接		(1) 连接紧密 (2) 受力好,耐疲劳 (3) 安装施工方便 (4) 便于养护和加固	(1) 用于直接承受动力荷载的结构连接 (2) 钢结构现场拼装和高空安装的重要部位 (3) 不宜焊接而采用铆钉连接的部位

11.4.2 钢结构构件加工制作要求与工艺流程、验收、运输、堆放、连接、防腐、涂装



5. 钢结构构件的防腐、防火涂装

(1) 钢结构的防腐(mitigate corrosion of steel structure)

① 钢结构的腐蚀。

钢材表面未加保护或护理不当，将受到周围环境中水分、氧、氯和硫化物等的侵袭作用而被腐蚀。钢结构腐蚀本质上是外部介质与钢材表面直接接触，形成了腐蚀原电池，产生电化学反应的结果。钢结构腐蚀后，构件截面减小，结构的承载能力降低，减少钢结构的使用年限，特别是对轻型钢结构和冷弯薄壁型钢结构，由于构件壁厚较薄，其影响更大。

11.4.2 钢结构构件加工制作要求与工艺流程、验收、运输、堆放、连接、防腐、涂装



② 钢结构的防腐方法。

基于钢结构腐蚀的本质，只要消除产生原电池的条件，便可防止腐蚀。目前，采用涂装防护层是钢结构普遍采用的防腐方法，即在钢构件表面涂刷或喷涂非金属保护层，将钢材表面与周围介质隔绝，防止有害介质对钢材的侵蚀。该法防腐效果好，涂料品种多，价格低廉，选择范围大，实用性强，不受构件形状和大小的限制，操作方便。



11.4.2 钢结构构件加工制作要求与工艺流程、验收、运输、堆放、连接、防腐、涂装



③ 钢材表面处理。

涂装防护层的防护作用和防护时间取决于涂层质量，而涂层质量则取决于涂装前钢材表面的处理质量。钢材表面处理质量直接影响涂层与钢材基底的结合力，表面处理质量的重要性尤为显著。钢材表面处理主要是：清除毛刺、焊接飞溅物、铁锈、油污等，使构件表面露出银灰色，以增加涂层与构件表面的黏合和附着力，使防护层不会因底层锈蚀而脱落。

a. 油污的清除。

在钢材表面除锈前要先清除各类污物，尤其是油脂性污物，清除此类污物的常用方法有有机溶剂清洗法、碱液化学除油法等。

b. 铁锈的清除。

钢材表面除锈的方法主要有三种：手工或动力工具除锈、喷射或抛射除锈和酸洗除锈。

11.4.2 钢结构构件加工制作要求与工艺流程、验收、运输、堆放、连接、防腐、涂装



④ 钢结构的防腐涂装。

防腐涂装施工通常有涂刷法和喷刷法两种方法，前者适用于油性基涂料的涂装，涂刷施工流畅，但劳动强度大，生产率低。后者适用于大面积构件施工，效率高，速度快，适应性强，涂膜厚，施工方便，但对环境有一定的污染。

钢结构防腐涂装施工要求：涂装工作宜在室内进行，并应保持环境清洁和干燥，以防已处理的涂件表面和已涂装好的构件受污染而影响质量；涂装施工时环境温度一般控制在 $5\sim 38\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间；涂装施工一般应控制相对湿度不大于85%，构件表面不应有结露；钢材表面处理符合要求后，一般应在 $4\sim 6\text{ h}$ 内涂第一道底漆。涂装前钢材表面不容许再有锈蚀，否则应重新除锈，同时处理后表面如沾上油迹或污垢时，应用溶剂清洗后，方可涂装；涂装后 4 h 内应保护免受雨淋。

11.4.2 钢结构构件加工制作要求与工艺流程、验收、运输、堆放、连接、防腐、涂装



钢结构防腐涂装施工注意事项如下。

涂料在开桶前，应充分摇匀。开桶后，原漆应不存在结皮、结块、凝胶等现象，有沉淀应充分搅拌，有漆皮应除掉。为保证漆膜的流动性而又不产生流淌，必须把涂料的黏度调整到一定范围之内。

在涂刷过程中，应按照自上而下、从左到右、先里后外、先难后易、纵横交错的顺序进行涂刷。

钢结构工程中地脚螺栓和底板、高强螺栓接合面等部位，严禁涂装。为防止误涂，施工前必须进行遮蔽保护。

涂装间隔时间应控制适当，否则对涂层质量会产生不利影响。如间隔时间合理，可增强涂层间的附着力和涂层的综合防护性能，反之，可能造成“咬底”或大面积脱落和返锈等现象。

二次涂装的表面处理和补漆。二次涂装是指构件在加工厂加工制作，并按设计

11.4.2 钢结构构件加工制作要求与工艺流程、验收、运输、堆放、连接、防腐、涂装



作业分工涂装完后，运至现场进行的涂装或涂装间隔时间超过最后间隔时间，再进行的涂装。对二次涂装的表面，应进行处理后，方可进行现场涂装。修补涂装。涂装结束安装之前，经自检或专检，涂层有缺陷时应及时修补。



11.4.2 钢结构构件加工制作要求与工艺流程、验收、运输、堆放、连接、防腐、涂装



(2) 钢结构的防火(fire resistance of steel structure)

钢材虽为非燃烧建筑材料，但不耐火，钢材的力学性能，如屈服点、抗拉强度等会受到温度影响而发生变化，在高温下，钢材的强度和刚度均将迅速降低。对于未加防护的钢结构构件的耐火极限仅约为15 min，而我国规范对各种钢结构构件的耐火极限要求为1~3 h，因此钢结构构件在投入使用前必须进行防火处理。目前，防火涂装是钢结构防火处理最有效、最常用的方法。该法施工简单，重量轻，耐火时间延长，不受钢构件形状限制，具有良好的经济性和实用性。

11.4.2 钢结构构件加工制作要求与工艺流程、验收、运输、堆放、连接、防腐、涂装



钢结构防火涂装是将防火涂料涂覆在钢基材表面，进行防火隔热保护，防止钢结构在火灾中迅速升温挠曲变形倒塌。防火涂层对钢基材起到屏蔽作用，隔离火焰，使钢构件不至于直接暴露在火焰或高温中，涂层吸热后部分物质分解出水蒸气或其他不燃气体，起到消耗热量、降低火焰温度或燃烧速度、稀释氧气的作用；涂层本身多孔轻质，或受热膨胀后形成碳化泡沫层阻止热量迅速向钢基材传递，推迟了钢基材受热温度上升到极限温度的时间，从而提高了钢结构的耐火极限。

11.4.2 钢结构构件加工制作要求与工艺流程、验收、运输、堆放、连接、防腐、涂装



根据采用的防火涂料种类不同，分为膨胀型防火涂料和非膨胀型防火涂料两大类。膨胀型防火涂料厚度一般为2~7 mm，亦称薄型防火涂料，遇水时自身发泡膨胀，可形成涂层厚度的十几倍到几十倍的多孔碳质层，阻止外部向内部钢材的热传递，耐火极限可达0.5~1.5 h；非膨胀型防火涂料主要成分是无机绝热材料，遇火不膨胀，厚度一般为7~50 mm，亦称厚型防火涂料，耐火极限可达0.5~3 h以上。

11.4.3 钢结构单层工业厂房安装准备、吊装工艺



1. 钢结构单层工业厂房安装准备

①编写制定施工组织设计，简要描述工程概况，全面统计工程量，正确选择施工机具和施工方法，合理制定安装顺序，详细拟订主要安装技术措施，严格制定安装质量标准和安全标准，认真编制工程进度计划、劳动力使用计划以及材料供应计划等。

②钢结构安装前，按构件明细表核对进场的构件，核查质量证明书、设计变更文件、加工制作图、设计文件、构件进场所提交的技术资料。

③吊装前，对重要的起吊机械、工具、钢丝绳等进行检验，确保具备可靠的性能；对吊装设备和稳定性较差的构件，进行稳定性验算，必要时应进行临时加固。大型构件和细长构件的吊点位置和吊环构造应符合设计或施工组织设计的要求，对大型或特殊的构件吊装前应进行试吊，确认无误后方可正式起吊。

11.4.3 钢结构单层工业厂房安装准备、吊装工艺



- ④ 吊装施工前，掌握现场当天的风力、天气、气温等环境条件，以确保安装的顺利及安全。
- ⑤ 钢结构安装前，对钢结构设计图、加工制作图、基础图及其他必要的图纸和技术文件进行自审和会审，以明确图纸设计的意图及要求。
- ⑥ 在吊装钢构件之前，应检查构件的外形和几何尺寸，如有偏差应在吊装前设法消除，并用墨线标出各构件的相应面的中心线及轴线，以便校正构件的平面位置、垂直度、标高等。对不易辨别上下、左右的构件，应在构件上加以标明，以免吊装时出错。
- ⑦ 钢构件吊装前，根据施工组织设计要求的施工顺序，分单元成套供应。运输时，应根据构件的长度、重量选择车辆。钢构件在运输车辆上的支点、两端伸出的长度及绑扎方法均应保证构件不产生变形，不损伤涂层。

11.4.3 钢结构单层工业厂房安装准备、吊装工艺



⑧钢结构柱基一般采用钢筋混凝土阶梯或独立基础，柱基顶面通常设计为一平面，通过锚栓或地脚螺栓将钢柱与基础连成整体。施工前，需对柱基进行验收。

11.4.3 钢结构单层工业厂房安装准备、吊装工艺



2. 钢结构单层工业厂房吊装工艺

(1) 钢柱的吊装

① 钢柱的吊升。

钢结构单层工业厂房的吊装通常采用自行式起重机或塔式起重机，其钢柱的吊装方法与钢筋混凝土排架结构单层工业厂房柱类似，可采用旋转吊装法和滑行吊装法，对重型钢柱可采用双机抬吊的方法进行吊装。

11.4.3 钢结构单层工业厂房安装准备、吊装工艺



② 钢柱的校正和固定。

钢柱的校正包括平面位置、标高、垂直度的校正。平面位置的校正可用经纬仪从两个方向检查钢柱的安装准线。在吊升前应安放标高控制块以控制钢柱底部标高。垂直度的校正用经纬仪检验，如超过允许偏差，可用千斤顶进行校正。在校正过程中，随时观察柱底部和标高控制块之间是否脱空，以防校正过程中造成水平标高的误差。

为防止钢柱校正后的轴线位移，应在柱底板四边用10 mm厚钢板定位，柱复校后，紧固地脚螺栓，并将承重块上下点焊固定，防止走动。

11.4.3 钢结构单层工业厂房安装准备、吊装工艺



(2) 吊车梁的吊装

① 吊车梁的吊升。

在钢柱吊装完成并经校正固定和柱间支撑安装后，即可进行吊车梁吊装。钢吊车梁可采用自行式起重机吊装，也可采用塔式起重机、桅杆式起重机等吊装，但以履带式起重机应用最多。对大型吊车梁，可采用双机抬吊。

吊车梁均为简支梁，梁端之间应留有10 mm左右的空隙。梁与牛腿之间设钢垫板，并用螺栓连接，梁与制动架之间用高强螺栓连接。

吊车梁吊装前必须密切注意钢柱吊装后的位移和垂直度的偏差，认真做好临时标高垫块工作；实测吊车梁搁置处梁高制作的误差；严格控制定位轴线。

11.4.3 钢结构单层工业厂房安装准备、吊装工艺



② 吊车梁的校正。

吊车梁吊装过程中需校正内容为：标高、垂直度、轴线和跨距等。标高的校正可在屋盖吊装前进行，其他项目的校正宜在屋盖吊装完成后进行，因为屋盖的吊装可能引起钢柱在跨向移位。

吊车梁轴线的检验，以跨距为准，可采用通线法对各吊车梁逐根进行检验。亦可用经纬仪在柱侧面放一条与吊车梁轴线平行的校正基线，作为吊车梁轴线校正的依据。

吊车梁跨距的检验，用钢卷尺量测，跨度大时，应用弹簧秤拉测，并调整拉力为 $100\sim 200\text{ N}$ ，以防止卷尺下垂。必要时应对下垂度进行校正计算。吊车梁标高校正，主要是对梁做高低方向上的移动，可采用千斤顶或起重机等；轴线和跨距的校正是对梁做水平方向上的移动，可采用撬棍、钢楔、花篮螺栓、千斤顶等工具。

11.4.3 钢结构单层工业厂房安装准备、吊装工艺



(3) 屋架的吊装与校正

钢屋架的侧向刚度较差，翻身扶直、吊升时必要时应进行临时加固。

钢屋架吊升可采用自行式起重机、塔式起重机或桅杆式起重机等，一般根据屋架的跨度、质量和安装高度的不同，选用不同的起重机和吊装方法。

钢屋架的侧向稳定性较差，如起重机的起重量和起重臂的长度允许时，应先拼装两榀屋架及其上部的天窗架、檩条、支撑等成为整体，然后再吊装。钢屋架校正的内容主要包括垂直度和弦杆的正直度，垂直度用垂球检验，弦杆的正直度用拉紧的测绳进行检验。

钢屋架校正无误后，用焊接或高强度螺栓固定。

11.5

质量标准与安全技术



11.5.1 质量标准



混凝土结构安装质量标准

(1)在进行构件的运输或吊装前，必须进行认真复查验收，构件须有出厂证明资料，并在检查合格的构件上加盖“合格”印章

(2)构件安装质量必须符合安装质量要求

①构件混凝土或砂浆强度须符合设计要求，无设计要求时，须达到设计强度等级70%以上。预应力混凝土孔道灌浆强度不应低于15 MPa，下层结构承受内力的接头或接缝混凝土、砂浆强度不应低于10 MPa，并保证构件在吊装中不断裂。

②保证构件的型号、位置和支点锚固质量符合设计要求，且无损坏现象。

③结构安装应保证构件连接质量，焊工必须经过培训并取得考试合格证，焊接质量必须符合施工验收规范的要求；混凝土接头应保证材料计量准确、浇捣密实，必须达到设计施工验收规范的规定。

11.5.1 质量标准



④混凝土结构安装的允许偏差必须符合施工验收规范的要求，其安装允许偏差及检测方法见表11.7。

表 11.7 混凝土结构安装允许偏差

项次	项目		允许偏差/mm	检测方法	
1	杯形基础	中心线对轴线位置	10	钢尺检查	
		杯底安装标高	-10	水准仪	
2	柱	中心线对定位轴线的位置	5	钢尺检查	
		上下柱接口中心线位置	3		
		垂直度	≤5 m	5	经纬仪、吊线、钢尺检查
			>5 m	10	
			≥10 m	1/1 000 柱高且 不大于 20	
		牛腿上表面和 柱顶标高	≤5 m	-5	水准仪、钢尺检查
>5 m	-8				
3	梁或吊车梁	中心线对定位轴线的位置	5	钢尺检查	
		梁上表面标高	-5	水准仪、钢尺检查	
4	屋架	下弦中心线对定位轴线的位置	5	钢尺检查	
		垂直度	桁架、拱形屋架	L/250 屋架高	经纬仪、吊线、钢尺检查
			薄腹梁	5	

11.5.1质量标准



5	天窗架	构件中心线对定位轴线的位置		5	钢尺检查
		垂直度		$L/300$ 天窗架高	经纬仪、吊线、钢尺检查
6	托架梁	底座中心线对定位轴线的位置		5	钢尺检查
		垂直度		20	经纬仪、钢尺检查
7	板	相邻两板下表面平整	抹灰	5	钢尺检查
			不抹灰	3	
8	楼梯阳台	水平位置		10	钢尺检查
		标高		± 5	水准仪、钢尺检查
9	大型墙板	基础顶面标高		± 5	水准仪、钢尺检查
		楼层高度		± 10	钢尺检查
		墙板中心线对定位轴线的位置		3	经纬仪、吊线、钢尺检查
		墙板垂直度		3	钢尺检查
		楼板搁置长度		± 10	经纬仪、钢尺检查
		同一轴线相邻楼板高差		5	经纬仪、吊线检查
		每层山墙内倾		2	经纬仪、吊线、钢尺检查
		建筑物全高垂直度		10	—

11.5.1 质量标准



(3) 混凝土构件吊装验收标准

① 主控项目。

a. 进入现场的预制构件，其外观质量、尺寸偏差及结构性能应符合标准图或设计的要求。

检查数量：按批检查。

检验方法：检查构件合格证。

b. 预制构件与结构之间的连接应符合设计要求。

连接处钢筋或埋件采用焊接或机械连接时，接头质量应符合国家现行标准《钢筋焊接及验收规程》（JGJ 18—2012）、《钢筋机械连接技术规程》（JGJ 107—2010）的要求。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，检查施工记录。

11.5.1质量标准



c.承受内力的接头和拼缝，当其混凝土强度未达到设计要求时，不得吊装上一层结构构件；当设计无具体要求时，应在混凝土强度不小于 10 N/mm^2 或具有足够的支撑时方可吊装上一层结构构件。

已安装完毕的装配式结构，应在混凝土强度到达设计要求后，方可承受全部设计荷载。

检查数量：全数检查。

检验方法：检查施工记录及试件强度试验报告。

11.5.1质量标准



②一般项目。

a.预制构件码放和运输时的支撑位置和方法应符合标准图或设计的要求。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察检查。

b.预制构件吊装前，应按设计要求在构件和相应的支撑结构上标志中心线、标高等控制尺寸，按标准图或设计文件校核预埋件及连接钢筋等，并作出标志。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，钢尺检查。

c.预制构件应按标准图或设计的要求吊装。起吊时绳索与构件水平面的夹角不宜小于 45° ，否则应采用吊架或经验算确定。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察检查。

11.5.1质量标准



d.预制构件安装就位后，应采取保证构件稳定的临时固定措施，并根据水准点和轴线校正位置。

检查位置：全数检查。

检验方法：观察，钢尺检查。

11.5.1 质量标准



(4) 钢结构安装质量标准

- ①各节点应符合设计要求，传力可靠。
- ②各杆件的重心线应与设计图中的几何轴线重合，以避免各杆件出现偏心受力而产生附加力。
- ③腹杆的端部应尽量靠近弦杆，以增加桁架平面外的刚度。
- ④角钢截断时，宜采用垂直于杆件轴线直切。
- ⑤在装卸、运输和堆放的过程中，均不得损坏杆件，并防止其变形。
- ⑥为了使两个角钢组成“T”形或“X”形截面杆件，在两个角钢之间，每隔一定的距离应焊上一块填板。
- ⑦对钢结构的各个接头，在经过检查合格后，方可紧固和焊接。
- ⑧用螺栓连接时，其外露丝扣不应少于2~3扣，以防止在振动作用下，发生丝扣松动。

11.5.1 质量标准



⑨采用高强螺栓拼接时，必须当天拧紧完毕，外露丝扣不得少于两扣。

⑩钢结构安装的允许偏差必须符合施工验收规范的要求，其安装允许偏差及检测方法见表11.8。

表 11.8 钢结构安装允许偏差

项次	项目		允许偏差/mm	检测方法	
1	柱底座中心对定位轴线的偏移		≤ 5.0	吊线和钢尺检查	
2	柱基标高		有吊车梁的柱	$-5.0, +3.0$	水准仪检查
			无吊车梁的柱	$-8.0, +5.0$	
3	柱挠曲矢高		$\leq H/1000$, 但不大于 15.0	经纬仪或拉线 和钢尺检查	
4	柱轴线的垂直度	单层柱	$H \leq 10$ m	≤ 10.0	经纬仪或吊线 和钢尺检查
			$H > 10$ m	$\leq H/1000$, 但不大于 25.0	
	多节柱	底层柱	≤ 10.0		
		顶层柱	≤ 35.0		
5	钢桁架、屋架梁垂直度		$\leq h/250$, 但不大于 15.0	经纬仪或吊线 和钢尺检查	
6	受压弦杆或翼缘的直线段对通过桁架或屋架梁平面的弯曲矢高		$\leq L/1000$, 但不大于 10.0	经纬仪或拉线 和钢尺检查	

注：H—柱高；h—梯形屋架末端高度；L—受压弦杆或翼缘直线段长度。

11.5.2安全技术



(1) 起重机吊装安全技术

- ①起重机的行驶道路必须平整坚实，地下墓坑、孔穴、松软土层必须进行处理。起重机不得停置在斜坡上工作。
- ②应尽量避免超载吊装。特殊情况下难以避免时，应采取保护措施。
- ③禁止斜吊。防止造成超负荷运行及钢丝绳出槽，甚至拉断钢丝绳及伤人事故。
- ④应尽量避免满负荷行驶。
- ⑤双机抬吊时，要合理分配各机的负荷，并在操作时要统一指挥，互相配合。在整个起吊过程中，两台起重机的吊钩滑轮组均应基本保持垂直状态。
- ⑥不吊重量不明的重大构件或设备。
- ⑦禁止在6级以上大风情况下进行吊装作业。
- ⑧指挥人员应使用统一指挥信号。信号要鲜明、准确。起重机驾驶人员应听从指挥。

11.5.2安全技术



(2) 高空坠落安全技术

- ①操作人员在高空作业时，必须正确使用安全带，一般应高挂低用。
- ②在高空使用撬杠工作时，人要站稳，做到一手扶脚手架，一手操作。撬杠插进深度要适宜，应逐步撬动，不宜急于求成。
- ③在雨天或雪天进行高空作业时，必须采取防滑措施。
- ④登高梯子必须牢固。与支撑面夹角宜为 $65^{\circ} \pm 5^{\circ}$ ，并防止搭设挑头脚手板。
- ⑤安装有预留孔洞的楼板或屋面板时，应及时用木板盖严或设置防护栏杆、安全网等防坠落措施。
- ⑥电梯井口必须设防护栏杆或固定栅门，井内应每隔两层且最多每隔10m设一道安全网。

11.5.2安全技术



(3) 高空坠物伤人安全技术

- ①地面操作人员必须戴安全帽，且应尽量避免在高空作业的正下方停留或通过，亦不得在起重机起重臂或正在吊装的构件下停留或通过。
- ②高空作业人员使用的工具、零配件等，应放在随身佩戴的工具袋内，不可随意放置或抛掷。
- ③在高空利用气割或电焊切割时，应采取措施，防止火花落下伤人。
- ④构件安装后，必须检查连接质量，再确定连接安全可靠后，才能松钩或拆除临时固定工具。
- ⑤吊装现场应设置吊装禁区，禁止非工作人员入内。

11.5.2安全技术



(4) 触电、防火安全技术

- ①起重机从电线下行驶时，起重臂最高处与电线之间的距离应符合一定要求。
- ②电焊机的外壳应接地，电焊机的电源线长度不宜超过5 m，并必须架高。电焊机手把线质量应良好，如有破皮，应及时用胶布严密包扎。手把线的正常电压为60~80 V。
- ③塔式起重机或15 m以上长起重臂的其他起重机，应有避雷防电措施。
- ④现场变电室、配电室必须保持干燥通风。各种可燃材料不准堆放在电闸箱、电焊机、变压器和电动工具周围，防止材料长时间受热而自燃。
- ⑤搬运氧气瓶时，必须采取防震措施，氧气瓶严禁曝晒，更不可接近火源，不得用火熏烤冻结的阀门并防止机械油溅落到氧气瓶上。
- ⑥乙炔发生器应放置距火源10 m以上的地方，严禁在附近抽烟。如高空

11.5.2安全技术



有电焊作业时，乙炔发生器不得放在下风向。

⑦电石桶应存放在干燥的仓库内，并设置垫块，以防桶底锈蚀腐烂，使水分进入电石桶而产生乙炔。开启电石桶时，应使用不会产生火花的工具，如铜凿等。

11.5.3检测方法



结构安装工程质量的检测方法主要有：观察法、尺量检查、经纬仪检查、水准仪检查、扭矩测力扳手检查、吊线等。

- ①观察法：主要用于检查各构配件的安装位置、使用情况是否有错等。
- ②尺量检查：包括钢尺检查、游标卡尺检查等，主要用于检查结构构件尺寸、安装误差、焊缝误差等。
- ③经纬仪检查：检查结构构件安装的垂直度。
- ④水准仪检查：主要检查结构构件水平方向尺寸误差、标高等。
- ⑤扭矩测力扳手检查：主要用于检查螺栓紧固质量。
- ⑥吊线检查：主要用于检查各构件安装的垂直度等。
- ⑦具体检测方法和要求可参考相应现行规范和文件的规定。

基础练习



1. 柱吊装时绑扎方法有()和()。
2. 根据起重机与屋架的相对位置不同，屋架的扶直方法分为()和()。
3. 下列不属于起重机性能的工作参数是()。
A.起重量 B.起重高度
C.起重半径 D.机械重量
4. 钢结构的涂装环境温度应符合涂料产品说明书的规定，说明书如无规定时，环境温度应在()之间。
A.4~38 °C B.4~40 °C
C.5~38 °C D.5~40 °C
5. 高强度螺栓在终拧以后，螺栓丝扣外露应为2~3扣，其中允许有10%的螺栓丝扣外露1扣或4扣。()

基础练习



某金工车间厂房跨度为30 m，长度为90 m，柱距为6 m，拟采用W1—100型履带式起重机跨内开行吊装该厂房柱，起重机开行路线距柱纵轴线为6 m，试布置柱的预制位置并确定停机点的位置。

本章结束！