

起重吊装方案的编制



- 第一部分：起重吊装相关基础知识
- 第二部分：起重吊装方案的制定
- 第三部分：起重吊装的现状与发展

第一部分：起重吊装相关基础知识

一、起重术语及基本概念

- 1、主要术语和定义
- 1) 起重施工
- 安装和拆除中的吊装作业与工件的装卸及场内运输作业的统称。
- 2、) 工件
- 泛指设备、构件等起重吊装的对象。
- 3) 起重机械
- 用于起重工作的机械的统称。
- 4) 索具
- 在起重作业中，用于承受拉力的柔性件及附件的统称。一般常用索具包括麻绳、尼龙绳、钢丝绳、滑车、卸扣、绳卡、螺旋扣等。
- 5) 吊装载荷
- 指工件在吊装状态的实际重量加吊索具重量。
- 6) 吊装计算载荷
- 吊装载荷乘以动载系数。
- 7) 吊装高度
- 工件在吊装状态下，吊点起升的最大高度。

- 2、起重施工作业等级划分
- 1) 按SHT3536-2002《石油化工工程起重施工规范》分为三级：大型、一般型、小型

等级	条件				
	工件重量	吊装工艺	卧式安装长度	立式安装高度	工件结构
大型	100T以上	新工艺或多台吊车抬吊同一工件	直线长>70M	60M以上	结构特殊或薄壁、柔性结构
一般型	40-100T		直线长40~70M	30-60M	
小型	40T以下		直线长<40M	30M以下	

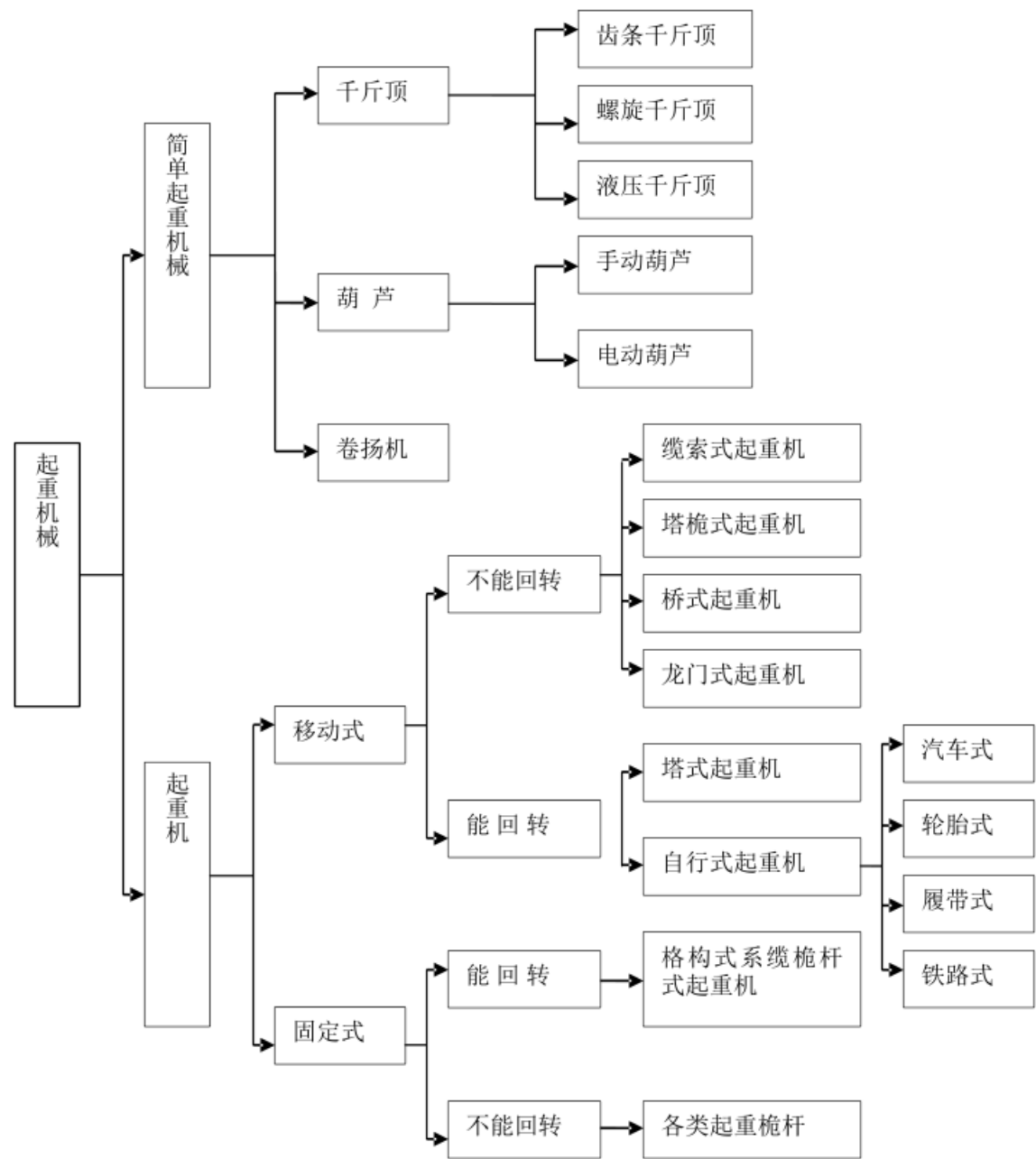
- 2) 按HG20201-2000《工程建设安装工程起重施工规范》分为四级：超大型、大型、中型、小型：
- 超大型：工件质量 $\geq 300T$ 或高度 $\geq 100M$ ；
- 大型：工件质量 $80 \sim 300T$ 或高度 $\geq 60M$ ；
- 中型：工件质量 $40 \sim 80T$ 或高度 $\geq 30M$ ；
- 小型：工件质量 $< 40T$ 或高度 $< 30M$ ；
- 3) 其他形式的等级划分：
- 由于行业的不同或建设/项目管理单位的不同，对起重施工的分级有时会有各自的规定，此时需按照规定确定起重施工分级。

- 4) 起重施工技术文件的编制和审批人员的资格:

起重施工 等级	大型（超大型）		中/小型（大/中/小型）	
	SHT3536-2002	HG20201-2000	SHT3536-2002	HG20201-2000
编制	工程师	工程师	助理工程师	助理工程师
审核	高级工程师	高级工程师	工程师	工程师
批准	单位总工程师	总工程师	项目总工程师	副总工程师

二、起重机械基本知识

- 起重机是一种能在一定范围内垂直起升和水平移动物品的机械。是起重吊装作业的重要组成部分，也是提高工作效率、减轻体力劳动和保证安全生产的重要条件。
- 1、分类
- 起重机具有多种类型，大多习惯按主要用途和构造进行分类，如按主要用途分，有通用起重机、建筑起重机、冶金起重机、港口起重机、铁路起重机和造船起重机等等。按构造特征分，有桥式起重机和臂架式起重机；旋转式起重机和非旋转式起重机；固定式起重机和运行式起重机。运行式起重机又分为轨行式(在固定的轨道上运行)和无轨式(无规定轨道，由轮胎或履带支承运行)。
- 在施工过程中，大体上可分为单动作和多动作两大类：



- 2、起重机基本技术参数：
- 起重机的技术参数是表征起重机的作业能力，是设计起重机的基本依据，也是所有从事起重作业人员必须掌握的基本知识。
- 基本技术参数主要有：
- 起重量（T）、起升高度（m）、跨度(属于桥式类型起重机)（m）、幅度(属于臂架式起重机)（m）、机构工作速度（m/min）、生产率和工作级别等。其中臂架式起重机的主要技术参数中还包括起重力矩等，对于轮胎、汽车、履带、铁路起重机其爬坡度和最小转弯(曲率)半径也是主要技术参数。
- 外形尺寸、车身高度、回转中心与起重臂下铰点距离、配重回转半径、支腿（履带）间距、履带宽度、起重臂高度/宽度、整车质量等。

100T汽车吊车性能表

幅度 Radius m	主臂 Main boom	支腿全伸后方和侧方作业 Over side and rear with outriggers fully extended			
	12.2m	20.4m	28.6m	36.8m	45m
3.0	100				
3.5	85				
4.0	72				
5.0	58				
6.0	47	43	30		
7.0	40	37	28	25	
8.0	34	32	26	22	
9.0	28	26	24	20	
10.0		23	20	18	13
11.0		20	17	16.5	13
12.0		17	15	15	12
13.0		14	13.5	13.5	11.3
14.0		12	12	12.5	10.8
15.0		10.5	11	11	10
16.0		9	9.5	10	9.5
18.0		6.3	7.8	9	8.6
20.0			6	7	7.6
22.0				5.6	6.5
24.0				4.5	5
26.0				3.5	4
28.0				2.6	3.2
30.0					2.5
使用吊钩	100t		30t		
吊钩重量	1250kg		440kg		
钢丝绳倍率	15	8	6	4	2
主臂最小仰角				35°	45°

幅度 Radius m	副臂 Jib	支腿全伸后方和侧方作业 Over side and rear with outriggers fully extended		
		45+9.5m	45+15m	
		2.5°	30°	2.5° 30°
11.0	6		4	
12.0	5.7		4	
13.0	5.3		4	
14.0	5	2.5	3.85	
15.0	4.7	2.5	3.7	
16.0	4.4	2.5	3.5	
18.0	4	2.5	3.2	
20.0	3.6	2.35	2.9	1.3
22.0	3.4	2.25	2.65	1.25
24.0	3	2.1	2.45	1.2
26.0	2.65	1.95	2.3	1.15
28.0	2.3	1.8	2	1.1
30.0	1.8	1.65	1.8	1.03
32.0	1.4	1.5	1.55	0.92
34.0		1.35	1.35	0.83
36.0				0.78
使用吊钩	6000kg			
吊钩重量	260kg			
主臂最小仰角	52°	55°	55°	58°

(单位: 吨)

(单位: 吨)

(47t 配重, 支腿全部伸出, 360°回转, 75%)

(t)

幅度(m)	臂 长 (m)									
	12.8 [△]	12.8	17.0*	21.1*	25.4*	29.5*	35.1	40.7	46.2	50.0
2.8	150.0 [△]	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	135.0 [△]	130.0	80.0	—	—	—	—	—	—	—
3.5	—	120.0	80.0	80.0	—	—	—	—	—	—
4	—	110.0	80.0	80.0	70.0	55.0	—	—	—	—
4.5	—	102.0	80.0	80.0	68.0	55.0	—	—	—	—
5	—	95.8	80.0	80.0	64.0	55.0	35.0	—	—	—
6	—	83.5	80.0	77.5	59.0	53.5	35.0	33.5	—	—
7	—	72.6	71.5	70.3	54.0	49.5	35.0	32.5	25.0	—
8	—	63.3	62.1	61.4	49.5	46.5	35.0	31.3	25.0	19.0
9	—	55.3	54.7	54.0	46.0	43.5	35.0	30.2	25.0	19.0
10	—	—	48.5	47.8	42.5	40.5	34.0	28.9	24.6	19.0
12	—	—	38.8	38.1	36.5	35.0	30.2	26.6	23.0	19.0
14	—	—	—	30.3	31.0	30.5	27.0	24.4	21.4	18.6
16	—	—	—	24.3	24.9	24.7	24.2	22.2	19.6	17.7
18	—	—	—	—	20.5	20.3	21.8	20.2	17.8	16.6
20	—	—	—	—	17.1	16.9	19.2	18.2	16.2	15.4
22	—	—	—	—	—	14.3	16.5	16.6	14.8	14.2
24	—	—	—	—	—	12.1	14.3	14.4	13.5	13.0
26	—	—	—	—	—	—	12.5	12.6	12.3	11.8
28	—	—	—	—	—	—	11.0	11.1	11.1	10.8
30	—	—	—	—	—	—	9.7	9.8	9.7	9.6
32	—	—	—	—	—	—	—	8.6	8.6	8.4
34	—	—	—	—	—	—	—	7.6	7.5	7.4
36	—	—	—	—	—	—	—	—	6.7	6.5
38	—	—	—	—	—	—	—	—	5.9	5.7
40	—	—	—	—	—	—	—	—	5.2	5.0
42	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4.4
44	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3.8

活动臂杆伸展百分比(%)

第1节活动臂	0	0	45	90	68	90	60	75	90	100
第2节活动臂	0	0	0	0	68	90	60	75	90	100
第3节活动臂	0	0	0	0	0	0	60	75	90	100
第4节活动臂	0	0	0	0	0	0	60	75	90	100

* 表示第1节活动臂销住。

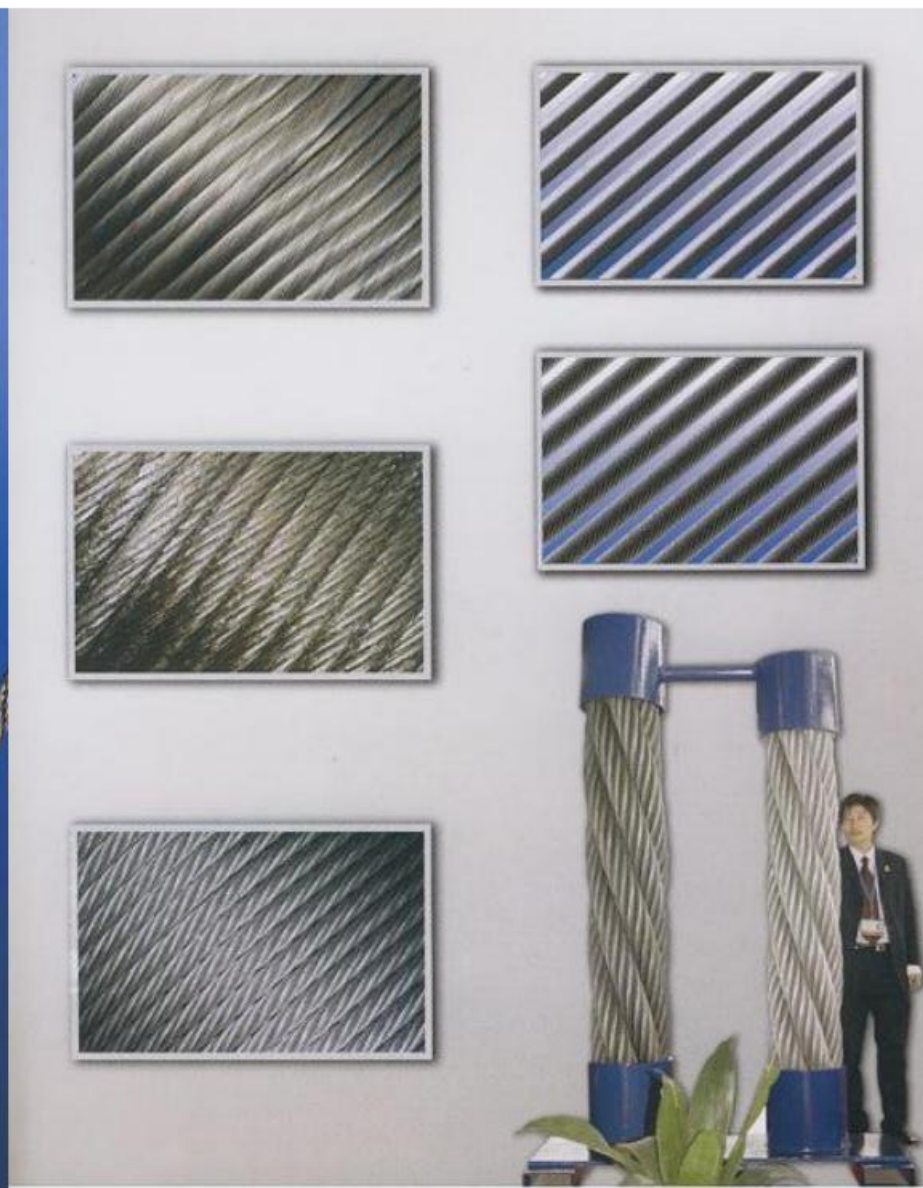
△ 表示仅限于后部范围内。大于100t的工作状态时, 必须使用重型起升装置。

三、起重吊、索具

- 1、麻（棕）绳
- 特点：质轻、柔软、易绑扎、价格低、抗拉强度小、易磨损等。
- 适用范围：可用于小件吊装（常用油浸麻绳和白棕绳），主要用作溜绳、平衡绳、缆风绳等。
- 2、合成纤维吊装带
- 特点：轻便、易绑扎、弹性小、不导电、价格适中、抗拉强度较低、易磨损等。（是钢丝绳的换代产品）
- 适用范围：用于小型设备、构件的吊装，特别适合无吊耳物件的吊装。
- 分类：分为扁平编织吊装带和封装吊装带（圆形吊带），简称吊带。
- 随着科学技术的发展，吊带的吊装能力和使用范围正不断增加。但在使用、维护保养、检验检查等方面，还需提高人员素质。



3、钢丝绳和吊索



- 1) 特点：抗拉强度高、弹性大、挠性好、耐磨损、寿命长、价格适中等。
- 2) 应用范围：广泛用于各类起重吊装工况，可用作起吊、牵引、绑扎等。
- 3) 分类：起重吊装中常用由1根纤维绳（或钢芯）和6股钢丝组成的3种钢丝绳，分别是6*19+1、6*37+1、6*67+1。相同直径时，钢丝多且细、则绳的挠性好、而耐磨性稍差。

3种钢丝绳的用途：

- a) 6*19+1钢丝绳：宜作拉索、缆风绳及其他少弯曲、受磨损时采用。
- b) 6*37+1钢丝绳：宜用于滑车组及其他呈弯曲时采用。
- c) 6*67+1钢丝绳：宜用于滑车组、制作吊索、起吊绑绳和重型机械。

起重施工用的钢丝绳，除某些特殊用途外，均应采用符合国家标准的双捻或混捻的钢丝绳。（防止钢丝绳旋转）

4) 标记举例：

钢丝绳6*19+1-16-1770表示6股、每股19丝、直径 $\phi 16\text{mm}$ 、钢丝绳公称抗拉强度为1770MPa。（公称抗拉强度是根据钢丝绳的钢丝强度，按国家标准进行的5个等级划分。）

- 5) 钢丝绳的许用拉力:
- 公式: $P=T/K$
- P ——钢丝绳许用拉力;
- T ——钢丝绳破断拉力;
- K ——钢丝绳的安全系数; 见下表

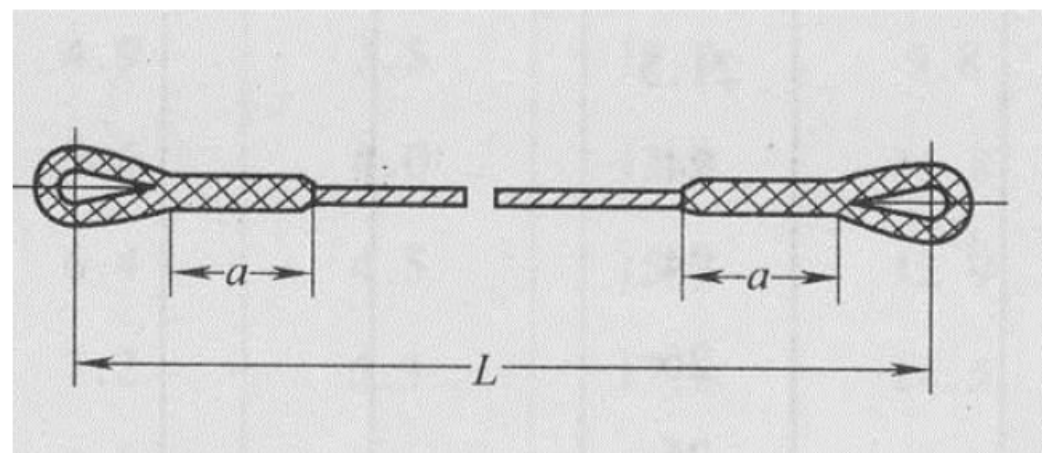
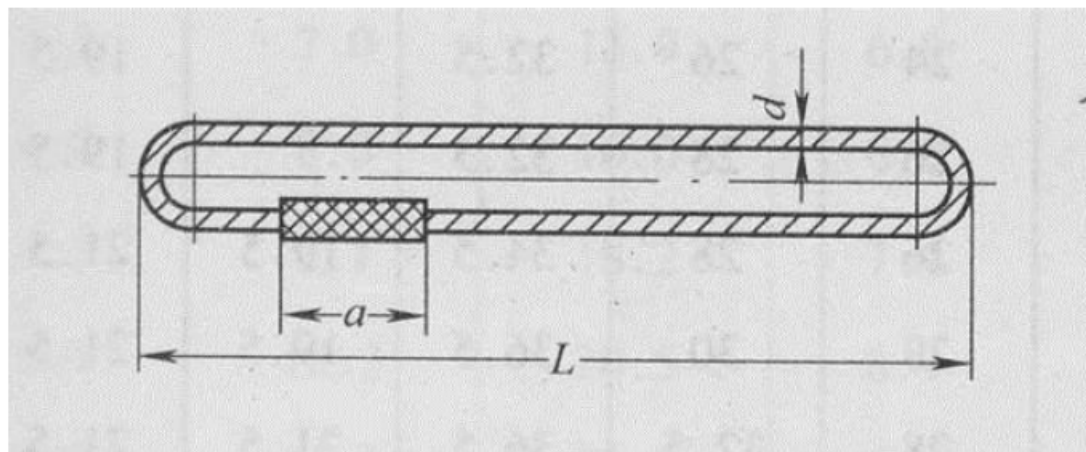
序号	使用工况		K
1	作拖拉绳		$K \geq 3.5$
2	作卷扬机走绳		$K \geq 5$
3	作捆绑绳扣	工件重量 $\leq 50T$	$K \geq 8$
		工件重量 $> 50T$	$K \geq 6$
4	作系挂绳扣		$K \geq 5$
5	作载人吊篮		$K \geq 14$

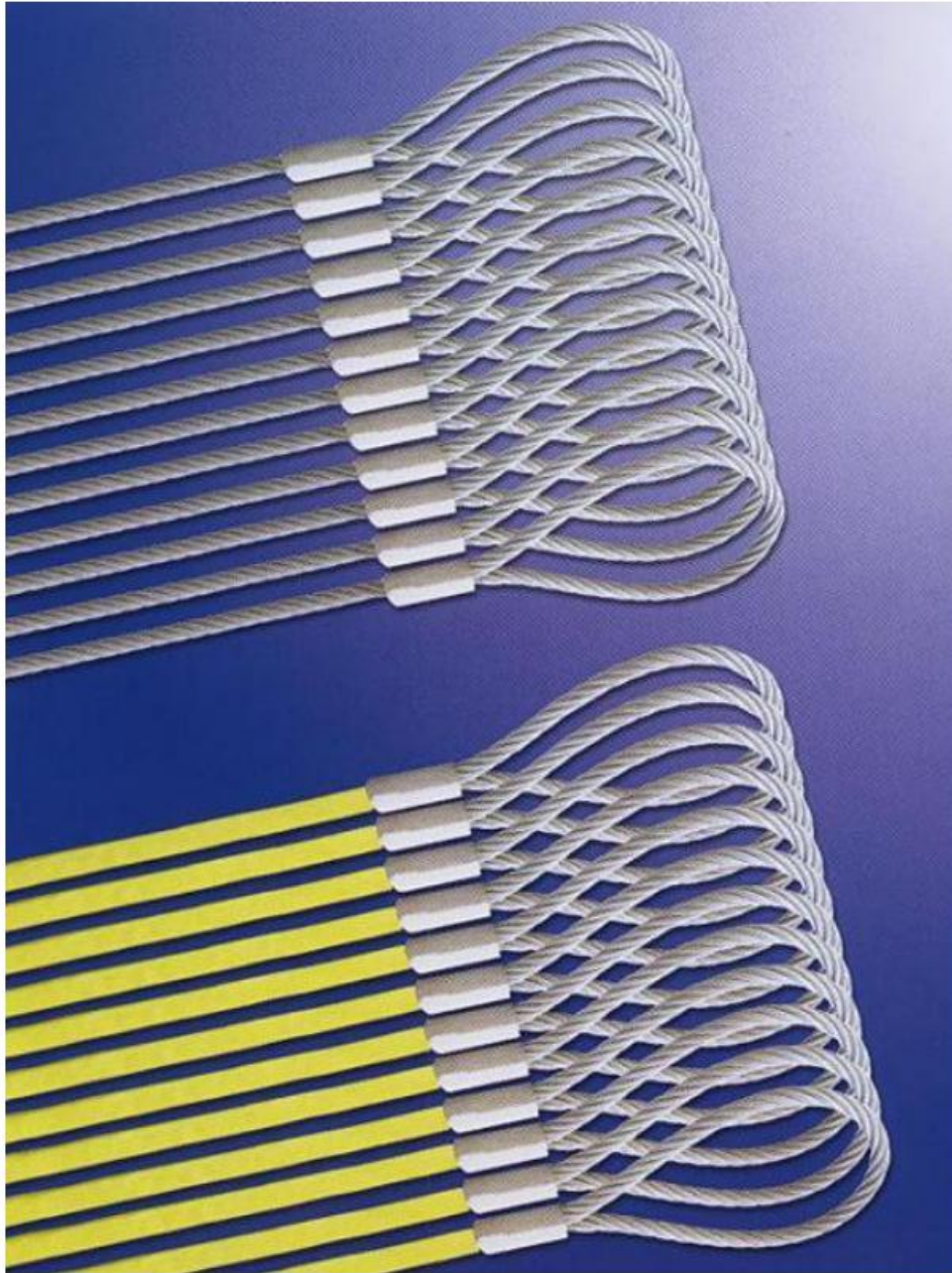
- 说明：钢丝绳作绳扣的使用方法主要有两种：缠绕捆绑、系挂。考虑到缠绕捆绑时，可能出现受力不均的现象，故对捆绑绳扣的安全系数作适当提高。
- **注意：**当钢丝绳的规格表中给出钢丝绳破断拉力总和时，应先求钢丝绳破断拉力，再按上述公式计算钢丝绳的许用拉力，即：
- 钢丝绳破断拉力=换算系数*钢丝绳破断拉力总和
- 换算系数C值为：
- 6*19钢丝绳： $C=0.85$
- 6*37钢丝绳： $C=0.82$
- 6*61钢丝绳： $C=0.80$

- 6)钢丝绳弯曲使用时，强度能力的折减计算：
- 钢丝绳在使用时，经常会出现绕过滑轮和销轴而产生弯曲的情况，从而造成钢丝绳强度一定程度的减弱，故如何确定钢丝绳的折减系数是吊装过程中经常遇到的问题。
- 在《石油化工工程起重施工规范》（**SHT3536-2006**）中，对折减系数有着具体的计算公式，可参照应用。
- 在实际应用过程中，可根据吊装载荷大小、钢丝绳的根数、弯曲程度、有无护绳装置等具体情况，在规范的基础上，适当乘以相应的折减系数，以提高安全系数。
- 7)钢丝绳损坏时，强度能力的折减计算
- 钢丝绳在使用过程中，如发生磨损、锈蚀、断丝等现象，应按相关规范（如《石油化工工程起重施工规范》（**SHT3536-2006**））进行折减计算，降低其使用能力，保证安全。

- 8) 吊索（也称绳扣）
- 吊索是以钢丝绳为挠性原件，配以端部刚性部件或用该钢丝绳端部直接插装成索眼而成。用于系结重物，挂于起重机械的吊钩或吊环上，完成工件的吊装就位工作。在目前广泛采用流动式起重机吊装作业的情况下，**吊索是钢丝绳中使用最普遍的一种吊索具。**
- 随着起重吊装的发展，各类吊装索具的定制化程度越来越高，产生了大量的索具专业制造企业。
- 吊索使用时应注意：
- a) 吊索两端插接索眼之间最小净长度不得小于吊索公称直径的**40倍**；
- b) 吊索与水平面的夹角不宜小于**60°**；当不能满足时，最低不小于**30°**；
- c) 采用捆绑绳扣时，挂在吊钩上的绳索/索眼，折合**1.5根**绳受拉；与绳索相连的索眼，折合**1.4根**绳受拉。

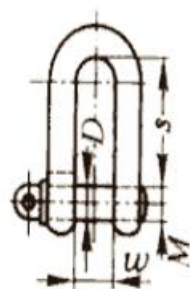
吊索示意图



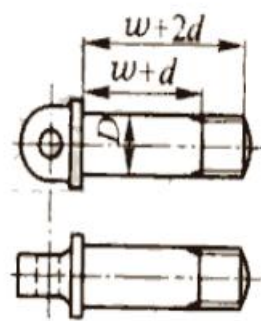


- 4、滑车和滑车组
- 滑车的选用应符合国家现行标准，HQ和HY系列起重滑车；选用时还应注意以下几点：
 - 1) 滑车载荷应按滑车出厂铭牌和产品使用说明书选用，不得超负荷使用；
 - 2) 多轮滑车仅使用其部分滑轮时，滑车的起重能力应使用的轮数计算；
 - 3) 滑车组动滑车与定滑车的最小间距不应小于滑轮轮径的5倍，走绳进入滑轮的侧偏角不宜大于 5° ；
 - 4) 滑车滑轮直径与钢丝绳直径比值应为11左右；
 - 5) 用于吊装大型工件的轮数较多的滑车组，在使用前应拆卸检查，保证其处于完好状态。

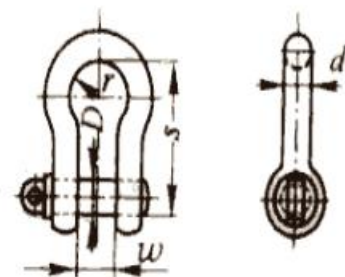
- 5、卸扣（卡扣、卡环）
- 卸扣由环圈和销轴组成，是在起重作业中用得最多的的连接工具之一；
- 分类：D形和弓形卸扣；
- 材料：应用优质低碳钢或合金钢锻成并进行热处理，严禁使用铸钢卸扣。选用时还应注意以下几点：
 - 1）卸扣在制造厂出厂时，应有明显的额定载荷标识，不得超载使用，无标记的卸扣不得使用；
 - 2）不得利用焊接方法修补卸扣；
 - 3）使用卸扣时，只应承受纵向拉力，不应歪斜使用，螺纹应满扣并预先润滑。



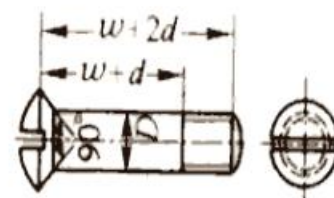
D形卸扣



W形: 带环眼和台肩
的螺纹销轴

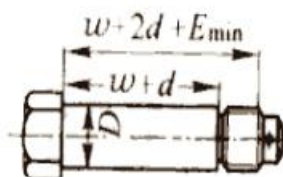


弓形卸扣



Y形: 沉头螺钉式销轴

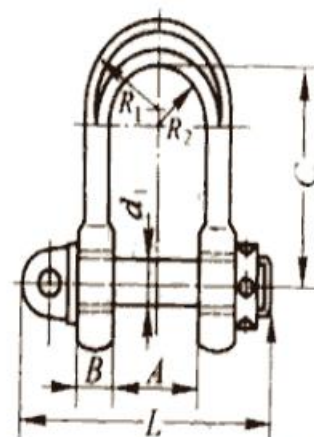
b



X形: 六角头螺栓和六角螺母
组成的销轴



a

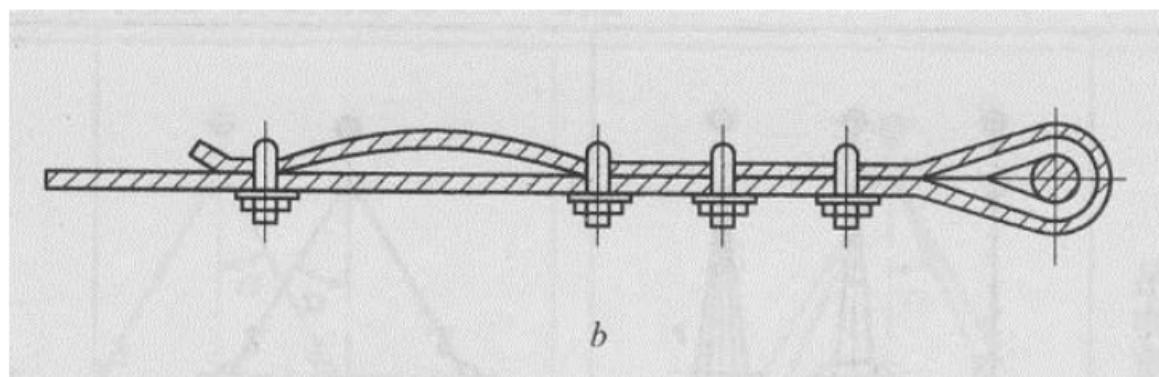
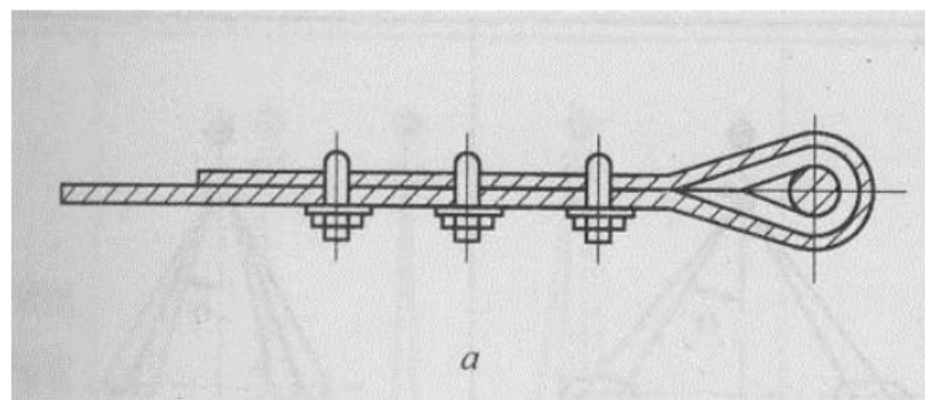


c

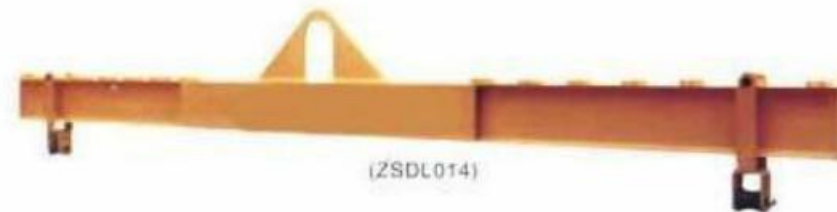
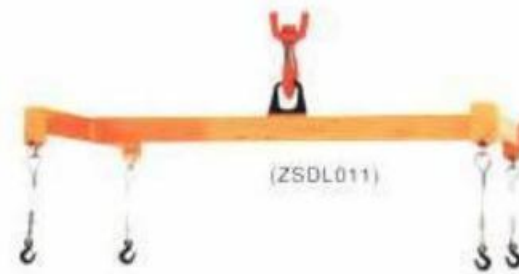
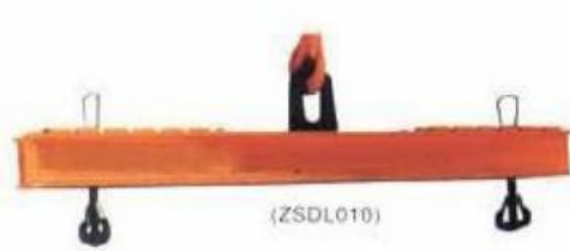


- 6、绳卡
- 也称绳夹、夹头或扎头，供固定钢丝绳末端时的夹接之用。绳卡的类型可分为马鞍式、抱合式和骑马式三种，应优先使用马鞍式的绳卡。使用时应注意以下几点：
- 1) 绕结的钢丝绳在不受力状态下固定时，安装绳卡的顺序应从靠近护绳环处开始；
- 2) 绕结的钢丝绳在受力状态下固定时，安装绳卡的顺序应从靠近绳头处开始；
- 3) 绳卡的使用要求应符合相关规范要求（参见SH3536、HG20210）；
- 4) 安装绳卡时，应使U型螺栓的弯曲部分在钢丝绳末端一侧，使马鞍座与主绳一侧接触，压紧程度应适宜，一般将钢丝绳压扁至绳径的 $\frac{2}{3}$ 为合适。
- 5) 钢丝绳在使用绳卡夹紧后，宜在两绳卡间做出圆形标识，或者在规定绳卡之外，再加一个保安绳卡，并留“安全弯”，以便检查。

绳卡的使用方法



- 7、吊具
- 在起重施工过程中，为保证吊装的顺利进行，经常需使用一些专用吊具，如：平衡梁/扁担、吊钩、夹钳等。在石油化工施工过程中，最常用的是平衡梁。
- 吊具选用应注意以下几点：
 - 1) 自行设计的吊具应根据其最大受力进行各构件的设计，并保证所有部件有足够的强度、刚度、安全系数，并绘制零件图和装配图；
 - 2) 吊具的设计文件应作为起重吊装施工组织设计（方案）的一部分，同时审批；
 - 3) 制作吊具的材料（包括焊接材料、连接件等）应有质量证明文件，吊具的焊接接头应经焊接工艺评定合格；
 - 4) 吊具的结构应简单、合理、连接可靠、运转灵活、拆装方便；
 - 5) 吊具必须按设计文件要求进行试验，合格后方可使用。





第二部分：起重吊装方案的制定

- ## 一、概述

- 1、在安装工程中，起重吊装是不可缺少的一门专业，在各个专业施工中都离不开这道工序。尤其对于大、重型设备（结构）的安装，起重作业占有相当大的比重。
- 起重工作是一项技术性强、危险性大、多工种人员配合、互相协调、精心组织、统一指挥的特殊工种作业。必须重点对作业现场的环境、重物吊运路线、吊运指定位置和起重物重量重心、重物状况、重物降落点、起重物吊点是否平衡、配备起重设备是否满足需要、进行分析计算、正确制定起重吊装方案，达到安全起吊和就位的目的。
- 2、起重吊装作业的特点：
- 应用范围广泛、物件种类繁多、方法多种多样、施工条件各不相同。
- 3、吊装分类：
- 从总体来讲，可分为：整体吊装、分体吊装、倒装等。其中整体吊装是起重吊装作业的主攻方向（缩短施工周期、减少高空作业、提高施工质量）。

- ## 二、起重吊装作业方法选择的依据

- (一) 起重吊装方案编制的原则：
科学、安全、经济、高效。
- 1、安全是吊装的前提，吊装方法应安全可靠并科学合理。
- 在选择吊装工艺方法、起重设备的选型和能力的核算、吊装安全技术措施采用等几个关键问题上，必须达到安全可靠、科学合理并有效实用。
- 2、尽量提高机械化吊装程度。
- 3、应充分利用已有的吊装机械和机具。
- 4、技术可靠，工艺成熟是吊装方法选择的基础。
- 一般的做法是，依设备的形状、尺寸、质量等参数为主要条件，结合吊装场地的作业环境和吊装机械的能力等初拟数种可采用的工艺方法，继而从多方面进行可行性比较，从中优选。选择时应以安全为前提，以技术可靠、工艺成熟为基础，在兼顾其他。
- 5、对吊装工期、吊装费用进行综合评估选取经济合理，工期正常的最佳方案。
- 6、利用一切有利条件，促进吊装方案科学先进。

- (二) 影响吊装作业方法选择的主要因素有：
- 1、吊装物
- 1) 吊装物的特征：体积大小、质量大小、体形特征(细高、粗短或是扁平)、重心位置。其主要基本参数：
- a) 被吊运重物的重量。一般情况下可依据重物说明书、标牌、货物单来确定或根据材质和物体几何形状用计算的方法确定。
- b) 被吊运物的重心位置及绑扎。确定物体的重心要考虑到重物的形状和内部结构是各种各样的，不但要了解外部形状尺寸，也要了解其内部结构。例如，机床设备机床头部重尾部轻，重心偏向床头一端。又如：大型电器设备箱，其重量轻，体积大，是薄板箱体结构，吊运时经不起挤压等。了解重物的形状、体积、结构的目的是要确定其重心位置，正确地选择吊点及绑扎方法，保证重物不受损坏和吊运安全。
- 2) 吊物的数量：是单台或是同规格多台,还是相近规格多台。
- 3) 工艺方法：采用整体吊装还是分段、分节吊装或是现场单件组装；是选用正装法或选用倒装法。

- 2、施工现场作业条件（地形、交通、周边环境、地下情况等）
- 现场环境对确定起重作业方案和吊装作业安全有直接影响。现场环境是指作业地点进出道路是否畅通，地面土质坚硬程度，吊装设备，厂房的高低宽窄尺寸，地面和空间是否有障碍物，吊运司索指挥人员是否有安全的工作位置，现场是否达到规定的亮度。
- 3、工程进度安排和要求（机械化吊装程度高低，决定吊装工期的长短）
- 4、现有机具装备情况及施工队伍技术力量
- 1) 机具：
 - 需新增大中型起吊设备；
 - 已有合用的起吊设备；
 - 有经组合或改制可用的起吊机具；
 - 可就近租赁到需要的起吊设备。
- 2) 施工人员：
 - 工程技术人员、指挥吊装人员、操作工人的技术素质和吊装技术状况；
- 5、有关起重吊装规程（包括业主/管理方的相关要求）
- 6、整个工程的施工组织设计
- 7、安全可靠程度：起重吊装工作必须确保安全可靠，把安全摆在第一位
- 8、经济效果：吊装费用合理，施工成本正常
- 9、吊装新工艺、新机具

- 三、吊装方案编制的主要内容

- 1、工程概况
- 2、编制依据
- 3、起重吊装方法和程序
- 4、吊装前的准备工作
- 5、起重吊装受力和计算
- 6、吊装程序及工艺
- 7、机具材料计划
- 8、劳动力计划和进度安排
- 9、安全、技术措施
- 10、吊装附图、附表

三、吊装方案编制的主要内容

- 1、工程概况：
 - 总体施工情况、工程特点、结构形式、吊装工程量、吊装物件数据表、对起重吊装的要求等。
- 2、编制依据：
 - 1) 招、投标文件；
 - 2) 施工图纸；
 - 3) 起重吊装规程、规范及标准；
 - 4) 起重机械性能表；
 - 5) 其他参考资料；

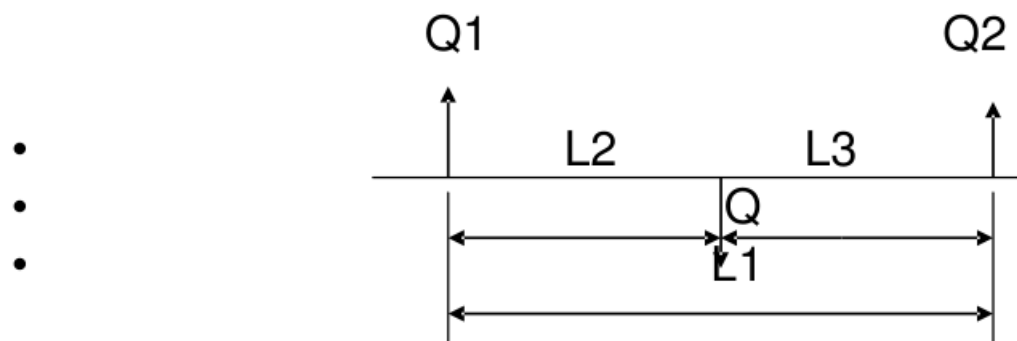
- 3、起重吊装方法和程序：
- 1) 吊装方法要作对比分析，找出最佳方案；
- 2) 吊装程序一般是：物体的绑扎——起升——就位——固定。为了使程序更加醒目，还可采用顺序图法，即在图上表明物体的布置、组装、就位点，起吊设备的运行路线及周围环境等；
- 3)、总平面布置图：
- a) 起重机具布置设点（包括组对、竖立场地）；
- b) 设备、非标准件堆放场地、运输路线；
- c) 地锚、缆风绳的固定点，大吨位应有施工结构图；
- d) 吊装作业区范围及指挥人员设点。

- 4、吊装前的准备工作
 - 1) 基础（结构）验收及处理
 - 2) 设备验收及摆放
 - 3) 施工场地的准备
 - 4) 人员准备及交底
 - 5) 安装材料及测量器具准备

- 5、起重吊装受力和计算：
- 1) 设备吊装重量及重心计算
- 2) 对使用的机具、索吊具的强度和稳定性进行核算，为选择合理的、经济的吊装机具提供可靠保证。
- 3) 吊装受力计算（吊车、桅杆能力验算，吊装空间能力验算等）；
- 4) 吊装索具强度和稳定性验算（绳索、平衡梁、吊耳等）；
- 5) 地基承载力计算（一般在使用300T以上流动式起重机时）；

- 1) 设备吊装重量及重心计算
- 重量一般可按设计图纸确定，并与设备制造厂家落实设备的准确重量。如有必要，应进行重量复核。
- 重心计算：（为主、辅吊车受力计算提供计算依据）
- 计算公式： $X = \frac{\sum G_i \cdot X_i}{\sum G_i} = \frac{\sum G_i \cdot X_i}{G}$
- 2) 对使用的机具、索吊具的强度和稳定性进行核算
- 主要针对自制或特殊的起重机具进行计算和核算。

- 3) 吊装受力计算（吊车、桅杆能力验算，吊装空间能力验算等）
- A、吊车能力验算： $Q_{\text{额}} > Q + q$
- $Q_{\text{额}}$ —吊车在相应工况下的额定起重量；
- Q —设备本体重量；
- q —吊钩、索具等重量；
- 应正确选择工况。
- 在正常情况下，吊车能力不考虑动载系数 K_1 ($K_1=1.1$)的影响；但在双机抬吊时，应考虑不平衡系数 K_2 ($K_2=1.1-1.3$)的影响。
- B、两台吊车抬吊时受力计算：



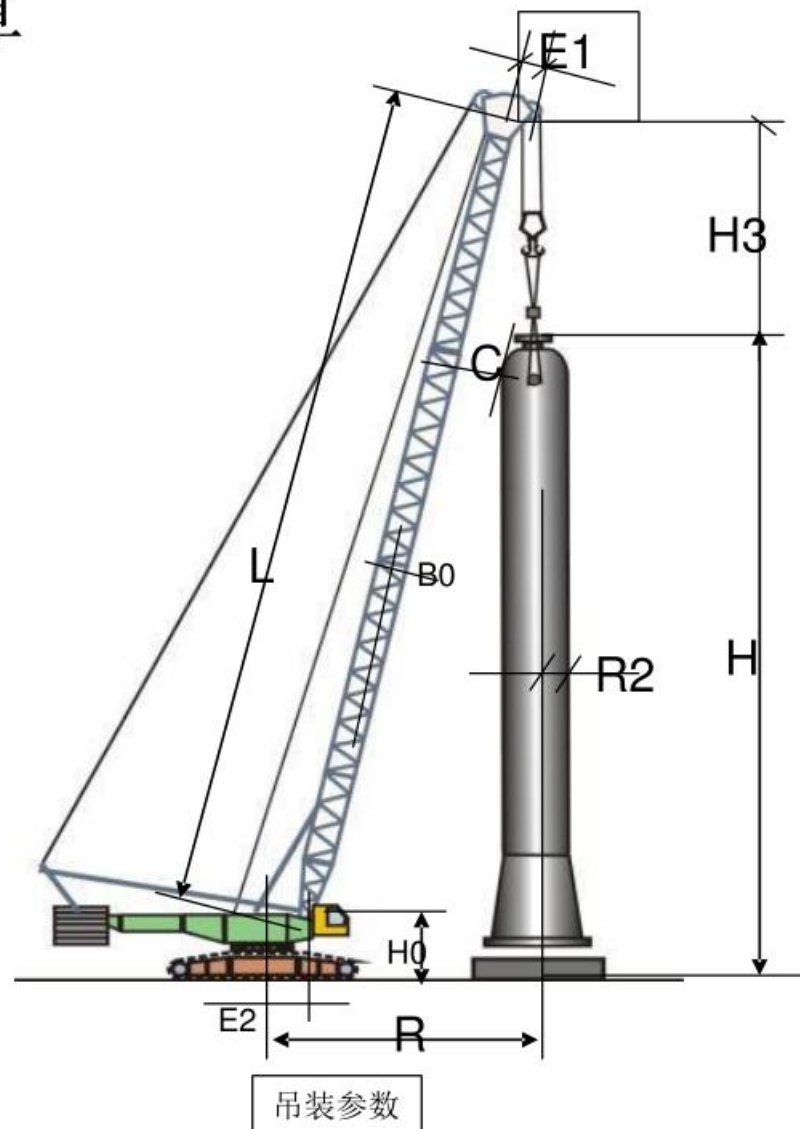
计算公式： $Q_1 \cdot L_1 = Q \cdot L_3$

Q_1 -主吊车受力， Q_2 -辅助吊车受力， Q -设备本体重量

注意：对于吊车受力而言，还应分别加上各自索具等的重量 ($Q+q$)。

• C、吊装空间能力验算

L 吊车杆长
R 回转半径
H 设备就位前高度
E2 (吊臂底部支点与转盘的
距离)
E1 (吊钩上滑轮中心与主
杆中心的距离)
R2 (设备半径)
B0 (主杆半宽度)
H0 (吊臂底部支点与地面
距离)
C 设备与主杆之间距离
H3 吊钩与主吊点的距离



- ①吊臂仰角： $\theta = \arcsin \frac{(R-E_2)E_1 + L\sqrt{L^2 - (R-E_2)^2 + E_1^2}}{L^2 + E_1^2}$

- ②设备与吊臂间的距离：

$$C = R + H_0 / \tan\theta - B_0 / \sin\theta - H / \tan\theta - R_2$$

- ③吊钩与主吊点间距离：

$$H_1 = L \sin\theta + H_0 - E_1 \cos\theta - H$$

提示：在实际计算过程中，可以利用CAD制图进行实际尺寸的模拟验算。

- 4) 吊装索具强度和稳定性验算
- A、单根吊索的受力F
- $F = F1 / mK K1 K2 < Sp$
- F1: 吊车的最大受力; (应取各工况下的最大受力)
- K: 安全系数, 根据使用工况选取, 一般取6~10;
- K1: 为动载系数, 取 $k1=1.1$
- K2: 为载荷不平衡系数; 取 $k2=1.1\sim1.3$;
- m: 钢丝绳根数;
- Sp: 钢丝绳破断拉力, 根据钢丝绳的结构查取

- **B、平衡梁的计算和校验**

- 平衡梁常分为扁担式和支撑式两种，以槽钢型扁担式平衡梁为例进行计算和验算：

- ①原始数据：

- 吊装受力大小

- 材料（Q235A、Q235B、20#等）

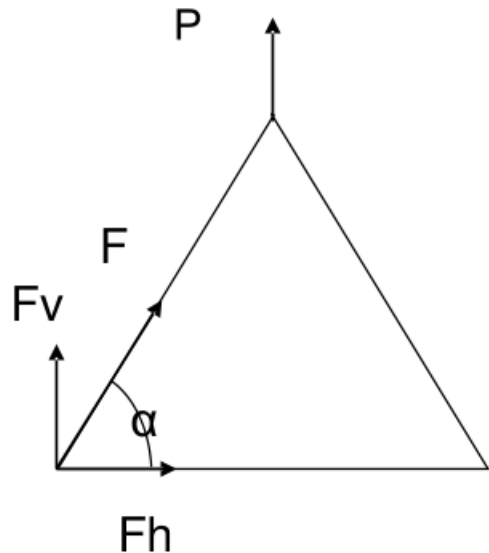
- 槽钢的类型、吊耳板的类型

- 屈服应力 σ_s

- 许用应力 $[\sigma] = \sigma_s / n$ （ n 为安全系数，取1.5-2.0）

- 许用剪应力 $[\tau] = 0.7 [\sigma]$

- ②平衡梁受力简图



- ③计算
- $F = K_1 \cdot K_2 \cdot P / n / \sin \alpha$ （ K_1 -动载系数， K_2 -不平衡系数， n 吊点数 $n=2$ ， α 索具与平衡梁的夹角）
- $F_v = K_1 \cdot K_2 \cdot P / n$
- $F_h = F_v / \tan \alpha$
- 按只受轴向力考虑，扁担所用支撑型材的截面积应满足：

公式： $A > F_h / [\sigma]$

- 吊耳板的验算，主要根据吊耳板的可能破坏的各受力截面，运用相关公式（如拉曼公式）进行截面抗拉强度、挤压强度等的验算，保证耳板的厚度、宽度及相关尺寸满足安全要求。
- 焊缝的验算，通过对焊缝剪切应力的校核，以确保焊缝的长度、高度满足安全要求。

- 5) 地基承载力计算

- 如需进行精确计算，将涉及土力学的相关知识和计算。
- 通常的计算方法为：
 - ①计算出吊装时吊车对地面的压力： $p = (G + Q) / A$
 - G —吊车重量， Q —吊装重量， A —承载面积
 - 注意：吊装过程中，各承载面（如吊车各支腿）的受力是变化的，应根据受力变化的情况，分析确定最不利的地基受力。
 - ②通过相关资料，查出相应地基承载力的标准值 f 。
 - ③如果 $p < f$ ，则满足地基承载力要求；否则应重新进行地基处理。

- 6、吊装程序及工艺
- 1) 吊装的基本操作程序描述;
- 2) 吊装相关工艺及施工技术要求描述;
- 7、机具材料计划: (可采用表格形式)
- 1) 要按吊件最大质量(含吊索具质量)、高度、回转半径等,来提出机具的品种、规格和数量。对特殊机具还应有必要的图样;
- 2) 材料计划包括使用的辅助材料、枕木、滚杠等;

- **8、劳动力计划和进度安排：**

- 1) 根据进度要求，合理组织安排劳动力，除本工种外一还要考虑其他专业的配合工种；
- 2) 进度安排应从进场开始到竣工所占用的时间表，可分为准备、施工、竣工阶段，并做到科学、均衡施工；

- **9、安全、技术措施**

- 1) 技术措施：要根据设计要求、允许偏差、达到的质量标准，针对吊装作业中的薄弱环节制定切实可行的技术措施；
- 2) 安全措施：要制定保证安全作业的各项措施，必须切合实际情况，抓住安全工作的要害，措施具体明确。对冬季、雨季施工及现场施工的不利因素，都要提出具体的要求。

- **10、吊装附图、附表：**

- 1) 吊装平面图、立面图、工件结构图、地锚施工图等；
- 2) 吊车性能表、索具质量证明文件等。

四、吊装方案编制实例

- 目前，我国石油化工项目较多，且石化项目的大多数工艺设备，其外形尺寸和重量是很大的。设备种类繁多，如：塔类设备、容器设备、加热炉和裂解炉、气柜和油罐、泵、压缩机、冷冻机、透平等设备。总的看来，石化项目的设备、吊装的重点绝大部分是立式静置设备，故以立式静置设备的吊装为例，进行实例讲解。
- 实例：中国石油独山子石化改扩建炼油及新建乙烯工程 **DREP100×104t/a** 乙烯装置丙烯精馏塔吊装方案

- **1、编制依据**

- 1.1 《独山子石化100万吨/年乙烯装置工程（A标段）施工组织设计》

- 1.2 中国寰球工程公司提供的丙烯精馏塔图纸（3026-210-32- EE0302）

- 1.3 《钢结构设计规范》 GB50017-2003

- 1.4 《石油化工施工安全技术规程》 SH3505-1999

- 1.5 《大型设备吊装工程施工工艺标准》 SH/T 3515-2003

- 1.6 《石油化工起重施工规范》 SH/T 3536-2002

- 1.7 《大型设备吊装管理标准》 Q/CNPC-YGSG326.12-2006

- 1.8 《施工技术措施编制基本规定》 Q/CNPC-YGSG326.04-2006

- 1.9 1350t履带吊吊装参数性能表

- 1.10 750t履带吊吊装参数性能表

- **2、工程概况**

- 2.1 工程简介**

- 100万吨/年乙烯装置内有两台丙烯精馏塔（10-C-5501A/B），单台塔净重900.9t（不含塔盘内件），外形尺寸 $\Phi 5800 \times 107900\text{mm}$ ，每台塔分三段到货，现场空中立式组对，根据现场的实际情况结合我公司以往大型设备吊装经验，丙烯精馏塔吊装主吊吊车选用一台1350t履带吊（LR11350），抬尾吊车选用一台750t履带吊（LR1750）。丙烯精馏塔分段示意图如下（图1）：

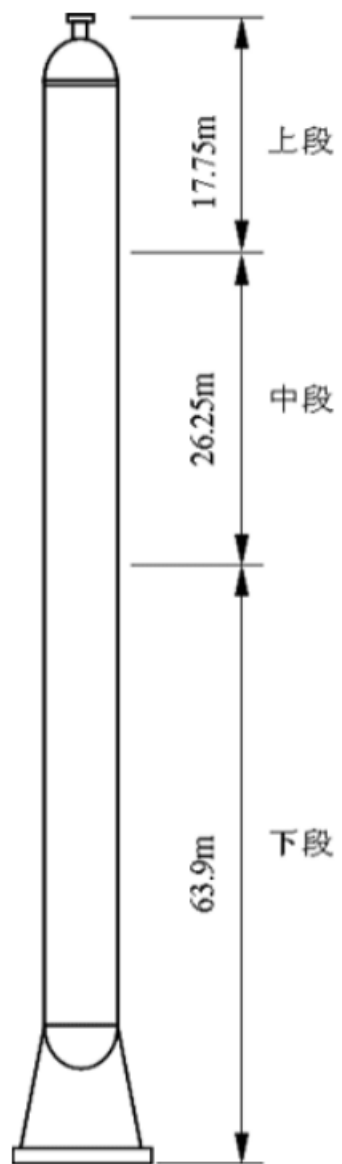


图1、丙烯精馏塔分段示意图

- **2.2 工程特点分析**

丙烯精馏塔（10-C-5501A/B）的吊装是乙烯装置设备吊装的重点和难点，此次吊装具有以下特点：

- ★设备高度高，安装顶标高为108.2m；

- ★2台丙烯精馏塔各分段的吊装交叉进行，主吊车需多次改变作业工况；

- ★空中立式组对要求精度高，吊装难度较大；

- ★下段吊装时，溜尾吊车行走距离达50m，吊车行走路线路基处理工作量大。

- **3 施工工艺**

- 3.1 施工工序流程**

- 两台丙烯精馏塔吊装施工工序流程如图2所示

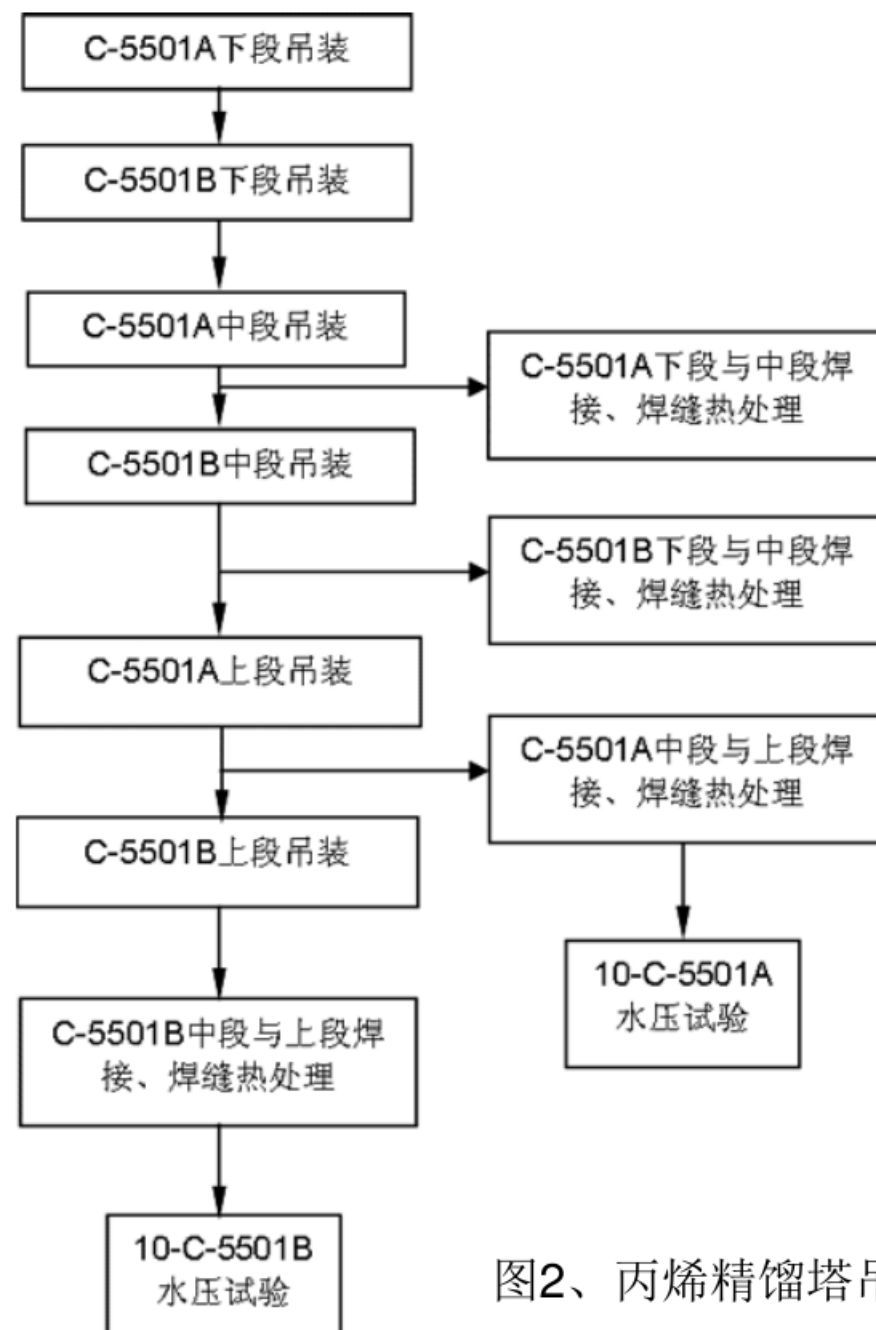


图2、丙烯精馏塔吊装施工工序流程图

- **3.2 技术要求及措施**

丙烯精馏塔各段装车时，各段下口朝向车尾，两主吊耳应位于水平位置，溜尾吊耳位于正上方。

设备到货前，吊装作业区域按照地基处理要求进行施工，满足要求后，根据平面布置图上的尺寸在现场定位，给吊车组对和吊装位置、行走路线以及设备的卸车位置做出明确标示。设备到货后按指定位置自行卸车，卸车后头部朝北、溜尾吊耳朝上。设备放在三个自带的鞍型支座上并固定牢固，鞍型支座下面用道木垫平使设备距离地面1.4m左右，便于地面安装梯子、平台等附件。

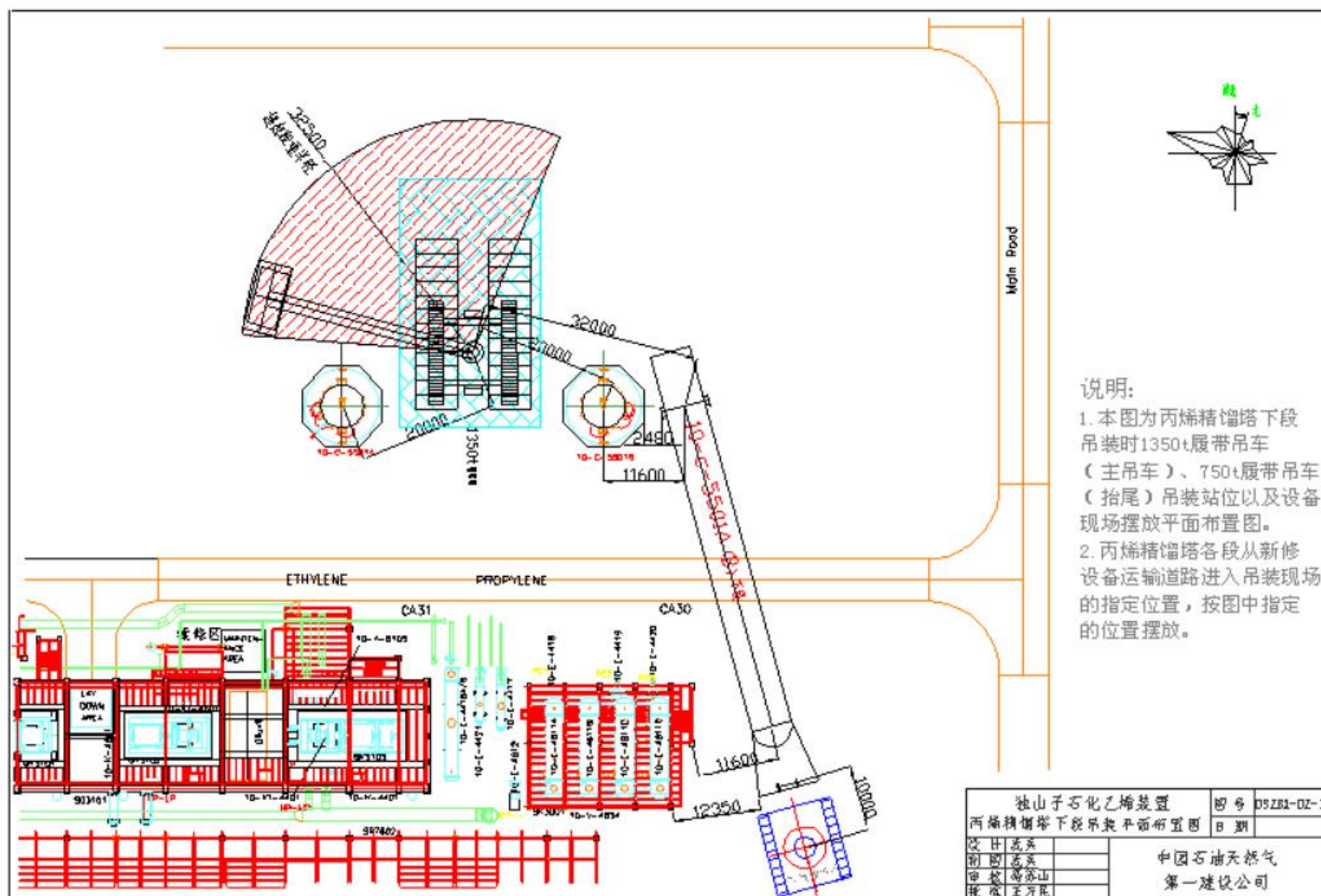


表1、 设备主吊耳方位表

设备名称		主吊耳方位	溜尾吊耳方位	备注
10-C-5501A	下段	0° ---180°	270°	设备自带
	中段	135° ---315°	225°	设备自带
	上段	30° ---210°	300°	设备自带
10-C-5501B	下段	0° ---180°	90°	设备自带
	中段	45° ---225°	135°	设备自带
	上段	150° ---330°	60°	设备自带

丙烯精馏塔各段参数如下：

表2 丙烯精馏塔分段吊装参数一览表

序号	名称		规格尺寸 (mm)	设备本体净重 (t)	梯子、平台重量 (t)	设备加固重量 (t)	主吊附加索具重量 (t)			吊装重量 (t)	基础标高 (mm)	就位顶标高 (mm)	备注
							吊钩重量	平衡梁重量	吊装绳索具重				
1	丙烯精馏塔 (10-C-5501A/B)	下段	$\Phi 5700/\Phi 9262 (\max) \times 50/56 \times 63900$	569.4	38	8.8	38	5	13	672.2	300	64200	
2		中段	$\Phi 5700 \times 50 (\max) \times 26250$	208	18.3	1.2	24	5	13	269.5	64200	90450	
3		上段	$\Phi 5700 \times 50 \times 17750$	123.5	14.5	0.6	24	5	5	172.6	90450	108200	

注：1、表中吊装重量=设备净重+梯子、平台重量+加固重量+附加索具重量；

2、下段的平台及梯子（标高+5000mm）和梯子（标高61100~67300mm）暂不安装；

中段平台（标高+67300mm）暂不安装；

上段平台（标高+106600mm）、梯子（标高+92300~+84300mm）和平台（标高+101300mm）的护栏暂不安装；

其余平台、梯子全部安装；

- **3.3 吊装过程**

由于2台丙烯精馏塔的吊装参数基本一致，本方案只描述**A塔下段**的吊装工艺，**B塔**仍按此方案进行。

- 3.3.1 丙烯精馏塔（10-C-5501A）下段吊装**

- 3.3.1.1 吊装工艺**

- 丙烯精馏塔10-C-5501A下段吊装工艺流程：

- ① 1350t履带吊站位距离丙烯精馏塔10-C-5501A基础中心20m，并在车后方加超起配重500t，然后让750t履带吊在设备尾部指定位置站好，在1350t履带吊和750t履带吊吊钩上挂好吊装绳索，1350t履带吊通过一根支撑式平衡梁与两管轴式主吊耳连接，750t履带吊连接设备尾部两板孔式溜尾吊耳（始吊状态吊车作业参数详见表3）。

- ② 试吊，即用两台履带吊抬吊使丙烯精馏塔下段离开地面200mm，停车检查，确认无误后，正式吊装。

- ③ 正式吊装开始后，1350t履带吊提升丙烯精馏塔下段并适时起升臂杆，750t履带吊抬丙烯精馏塔下段尾部使之离地面200mm左右，并随着丙烯精馏塔下段的直立适时的行走，1350t履带吊在吊装过程中仰起臂杆至作业半径R20m，丙烯精馏塔下段吊直。

- ④ 2台车配合将丙烯精馏塔下段吊直后（此状态吊车作业参数详见表4），拆去溜尾绳索，提升丙烯精馏塔下段至底部超过基础地脚螺栓200mm。

- ⑤ 1350t履带吊向右旋转臂杆，丙烯精馏塔下段转动至正对**A塔**基础中心位置，1350t履带吊回钩，使丙烯精馏塔下段就位。

• 3.3.1.2丙烯精馏塔下段吊装工艺参数表

参数表3

设备名称和位号		丙烯精馏塔下段10-C-5501A		吊装状态		始吊状态	
设备尺寸参数（mm）							
内直径		壁厚	高度	基础标高		就位过程最大标高	
Φ 5700		50/56	63900	300		65200	
吊装参数							
项目		主吊车（1350t）		溜尾吊车（750t）			
吊装重量 （t）	计算载荷重量	314.7		301.5			
	吊钩	38.0（1350t吊钩）		28.0（750t吊钩）			
	平衡梁	5					
	吊装机索具	13		3			
	吊装总重量	370.7		332.5			
主吊车参 数	工况	SDB2		溜尾吊车 参数	工况	SD	
	主臂杆长度	84m			主臂长度	42m	
	工作半径	R32m			工作半径	R10m	
	超起配重半径	R30m			超起配重	/	
	超起配重	500t			主车配重	245t	
	额定吊装负荷	554t			额定吊装负荷	396t	
	主吊车负荷率	370.7/554=66.9%			溜尾吊车负荷率	332.5/396=84.0%	

参数表4

设备名称和位号	丙烯精馏塔下段10-C-5501A		吊装状态	就位状态
设备参数（mm）				
内直径	壁厚	长度	基础高度	就位过程最大标高
Φ 5700	50/56	63900	300	65200
主吊车吊装重量（t）				
设备重量	1350t吊钩重量		附加索具重量	吊车吊装总重量
616.2	38		18	672.2
主吊车参数				
工况	SDB2		主臂杆长度	84m
工作半径	R20m		超起配重	500t
超起配重半径	R30m		额定吊装负荷	756t
主吊车负荷率	672.2/756=88.9%			

吊装索具表5

主吊索具	(1) 650t平衡梁一根(制作图详见附图650t—6660mm型平衡梁); (2) 主吊钢丝绳扣为$\Phi 208\text{mm}$无接头绳圈两根, 每根周长40m, 双只绳圈额定载荷700t大于设备重量$618.2 \times 1.1=680\text{t}$。 (3) 辅助绳扣$\Phi 66\text{mm}$插制绳扣两根, 每根长度16m, 单圈使用, 55t卸扣2个。$\Phi 66\text{mm}$破断拉力为227t 安全系数为$k=(227 \times 1.5)/40.9=8.3$, 主吊绳索具满足安全要求。
溜尾索具	(1) 300t卸扣2只; (2) $\Phi 160\text{mm}$无接头绳圈两根, 每根周长12m。双只额定载荷为440t大于溜尾载荷$302.5 \times 1.1=332.8\text{t}$。溜尾绳索具满足安全要求。

- **3.3.2丙烯精馏塔中段吊装工艺**

丙烯精馏塔中段吊装主吊车**1350t**履带吊选择**SDB**工况，**120m**吊臂，超起配重**300t**。**750t**履带吊选择**SD**工况，**42m**吊臂。具体吊装参数见下表：

参数表6

设备名称和位号		丙烯精馏塔中段10-C-5501A		吊装状态		始吊状态			
设备尺寸参数（mm）									
内直径		壁厚		高度		基础标高		就位过程最大标高	
Φ5700		50		26250		64200		90750	
吊装参数									
项目		主吊车（1350t）		溜尾吊车（750t）					
吊装重量 （t）	计算载荷重量	116.2		111.3					
	吊钩	24.0（625t吊钩）		28.0（750t吊钩）					
	平衡梁	5							
	吊装机索具	13		3					
	吊装总重量	158.2		142.3					
主吊车参 数	工况	SDB		溜尾吊车 参数	工况		SD		
	主臂杆长度	120m			主臂长度		42m		
	工作半径	R32m			工作半径		R16m		
	超起配重半径	R20m			超起配重		/		
	超起配重	300t			主车配重		245t		
	额定吊装负荷	287t			额定吊装负荷		238t		
	主吊车负荷率	158.2/287=55.1%			溜尾吊车负荷率		142.3/238=59.8%		

参数表7

设备名称和位号	丙烯精馏塔中段10-C-5501A	吊装状态	就位时
设备尺寸参数 (mm)			
直径	壁厚	长度	基础高度
Φ5700 (max)	50	26250	+64200
主吊车吊装重量 (t)			
设备重量	625t吊钩重量	附加索具重量	吊车吊装总重量
227.5	24	18	269.5
主吊车参数			
工况	SDB	主臂杆长度	120m
工作半径	R26m	超起配重	300t
超起配重半径	R20m	额定吊装负荷	343t
主吊车负荷率	$269.5/343=78.6\%$		

吊装索具表8

主吊索具	中段与下段采用一套吊装索具
溜尾索具	(1) 300t卸扣1只； (2) $\Phi 160\text{mm}$无接头绳圈1根，每根周长12m。 单只额定载荷为240t大于溜尾载荷$111.3 \times 1.1 = 122.5\text{t}$。 溜尾绳索具满足安全要求。

- **3.3.3丙烯精馏塔上段吊装工艺**

丙烯精馏塔上段吊装主吊车**1350t**履带吊选择**SDB**工况，**132m**吊臂，超起配重**200t**，**750t**履带吊选择**SD**工况，**42m**吊臂。具体吊装参数见下表：

参数表9

设备名称和位号		丙烯精馏塔上段10-C-5501A		吊装状态		始吊状态	
设备尺寸参数（mm）							
内直径		壁厚	高度	基础标高		就位过程最大标高	
Φ5700		50	17750	90450		108500	
吊装参数							
项目		主吊车（1350t）		溜尾吊车（750t）			
吊装重量 （t）	计算载荷重量	86.2		52.4			
	吊钩	24.0（625t吊钩）		28.0（750t吊钩）			
	平衡梁	5					
	吊装机索具	13		3			
	吊装总重量	128.2		83.4			
主吊车参数	工况	SDB		溜尾吊车参数	工况	SD	
	主臂杆长度	132m			主臂长度	42m	
	超起配重	200t			主车配重	245t	
	超起配重半径	R20m			超起配重	/	
	工作半径	R32m			工作半径	R16m	
	额定吊装负荷	206t			额定吊装负荷	238t	
	主吊车负荷率	128.2/206=62.2%			溜尾吊车负荷率	83.4/238=35.1%	

参数表10

设备名称和位号	丙烯精馏塔上段10-C-5501A	吊装状态	就位状态	
设备尺寸参数（mm）				
内直径	壁厚	高度	基础标高	就位过程最大标高
Φ5700	50	17750	90450	108500
主吊车吊装重量（t）				
设备重量	625t吊钩重量	附加索具重量	吊车吊装总重量	
138.6	24	10	172.6	
主吊车参数				
工况	SDB	主臂杆长度	132m	
工作半径	R26m	超起配重	200t	
超起配重半径	R20m	额定吊装负荷	266t	
主吊车负荷率	172.6/266=64.9%			

吊装索具表11

主吊索具	(1) 650t平衡梁一根 (2) $\Phi 118\text{mm}$无接头绳圈两根, 每根周长24m, 2根额定载荷为241t, 每根无接头绳圈再接$\Phi 66\text{mm}$钢丝绳1根 (长度20m, 2圈使用), 采用120t卸扣连接。$\Phi 118\text{mm}$绳圈额定载荷为241t大于$138.6 \times 1.1 = 152.5\text{t}$。 $\Phi 66\text{mm}$钢丝绳破断拉力为227t 安全系数为$K = 227 \times 3 \times 2 / 152.5 = 8.9$ (2) 辅助绳扣$\Phi 60\text{mm}$绳扣两根, 每根长度12.5m, 单圈使用; 55t卸扣2个, 主吊绳索具满足安全要求。
溜尾索具	(1) 120t卸扣1只; (2) $\Phi 60\text{mm}$钢丝绳1根, 长度24m, 2圈使用。60mm钢丝绳破断拉力为190.434t 安全系数为$K = 190.434 \times 3 / (52.4 \times 1.1) = 9.9$ 溜尾绳扣满足要求。

- 4吊装计算

- 4.1丙烯塔下段吊装受力计算

- ★ 始吊状态

- 根据设备图计算出设备的重心位置距地脚环28.92m。

- 据 $P1 \times 55340 = G \times 28260$

- 代入数值计算得： $P1 = 314.7t$

- 抬尾力为： $P2 = G - P1$ 代入数值计算得：

- $P2 = 301.5t$

- 式中： G — 设备重量(设备净重+劳动保护重量+加固重量) 616.2t;

- $P1$ — 主吊吊车受力;

- $P2$ — 抬尾吊车受力;

- 此状态为抬尾吊车最大受力状态，据此进行抬尾机索具的选择。

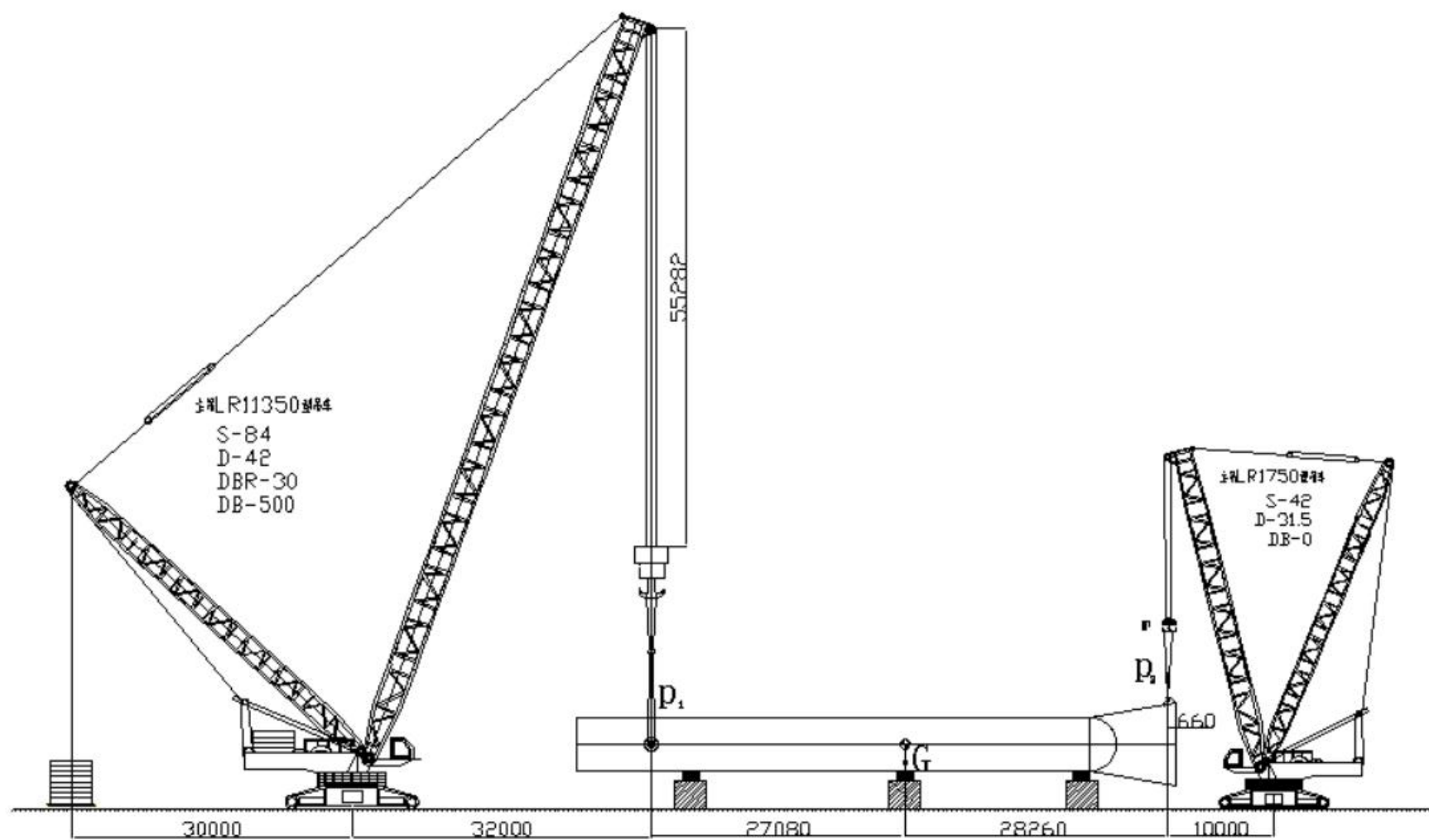


图3、下段吊装始吊状态图

★ 中间状态

此状态主吊力不断增大，溜尾力逐渐减小，都不是最大受力，不再做详细分析。

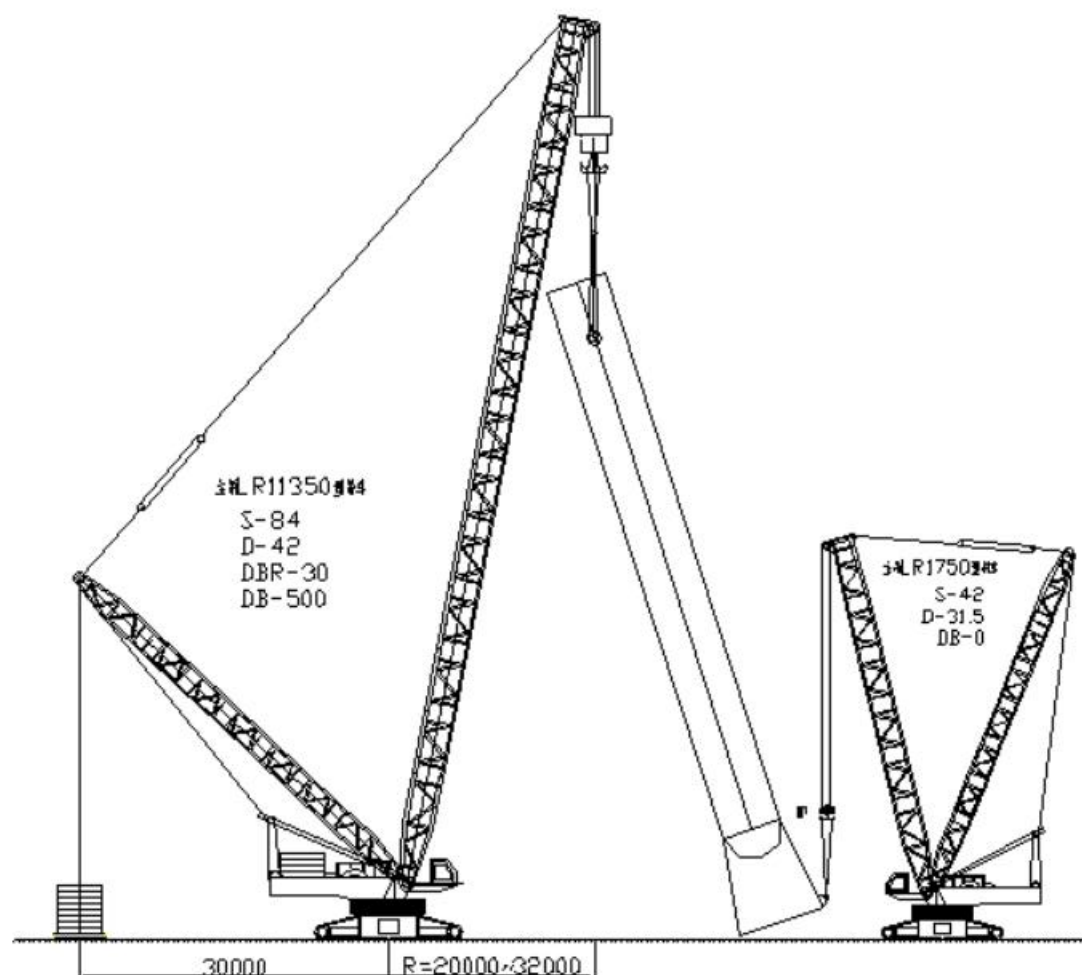


图4、下段吊装中间状态图

★ 就位状态

此状态为主吊吊车最大受力状态，据此进行主吊机索具的选择。

$$P1=G=616.2t$$

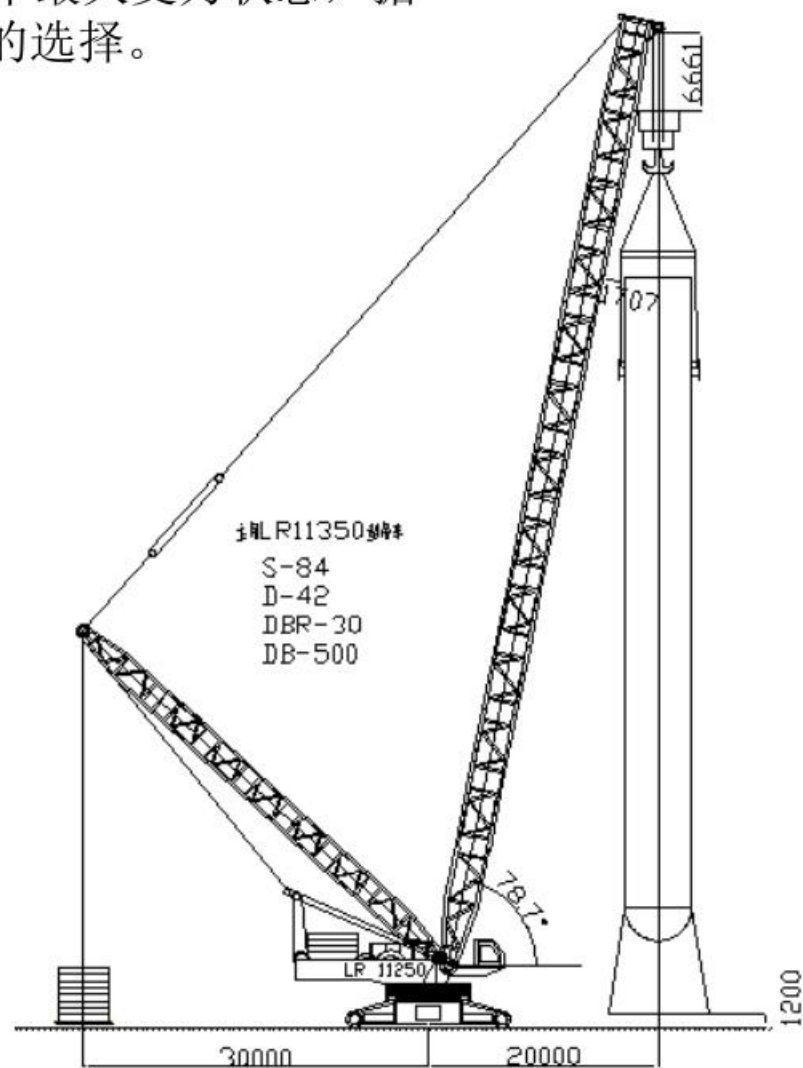


图5、下段吊装就位状态图

- **4.2丙烯塔吊装空间尺寸校核计算**

- 4.2.1丙烯塔下段吊装参数校核计算**

① 吊臂仰角： $\theta = \arcsin \left(\frac{RE_1 + L\sqrt{(L^2 - R^2 + E_1^2)}}{L^2 + E_1^2} \right)$

R---吊臂铰支轴到被吊设备中心的距离，

R=20-1.75=18.25m，

E1---吊臂顶部定滑轮到吊臂轴线偏心距，E1=1.8m

L---吊臂长度，L=84m

代入数据： $\theta = 78.7^\circ$

② 设备与吊臂间的安全净距离距离：

$$C=R+H_0 / \tan\theta - B_0 / \sin\theta - H / \tan\theta -$$

R_2

H_0 ---吊臂铰支轴高度, $H_0 = 5.327\text{m}$

B_0 ---校核点处吊臂宽度的1/2, $B_0 = 1.55\text{m}$

H ---设备校核点处的标高, $H = 65.2\text{m}$

R_2 ---吊装平面内校核点到吊钩铅垂线的距离,

$R_2 = 3\text{m}$

代入数据得： $C = 18.25 + 1.064 - 1.58 - 13.027 -$

$3 = 1.707\text{m}$

从以上计算得出：吊车吊臂距离丙烯精馏塔下段顶部外边缘有1.707m的距离，满足安全要求

③ 吊钩与主吊点间的最大允许间距 $H_1 = L \sin\theta + H_0 + H_2 - E_1 \cos\theta - H - l$

H_2 ---主吊耳中心线到设备顶部距离,由图纸可知 $= 7.9\text{m}$

l ---吊钩提升至最高位置时的安全距离, $l = 5\text{m}$

$$H_1 = 82.372 + 5.327 + 7.9 - 0.353 - 65.2 - 5 = 25.046\text{m}$$

所以周长40m的绳圈满足净高要求。

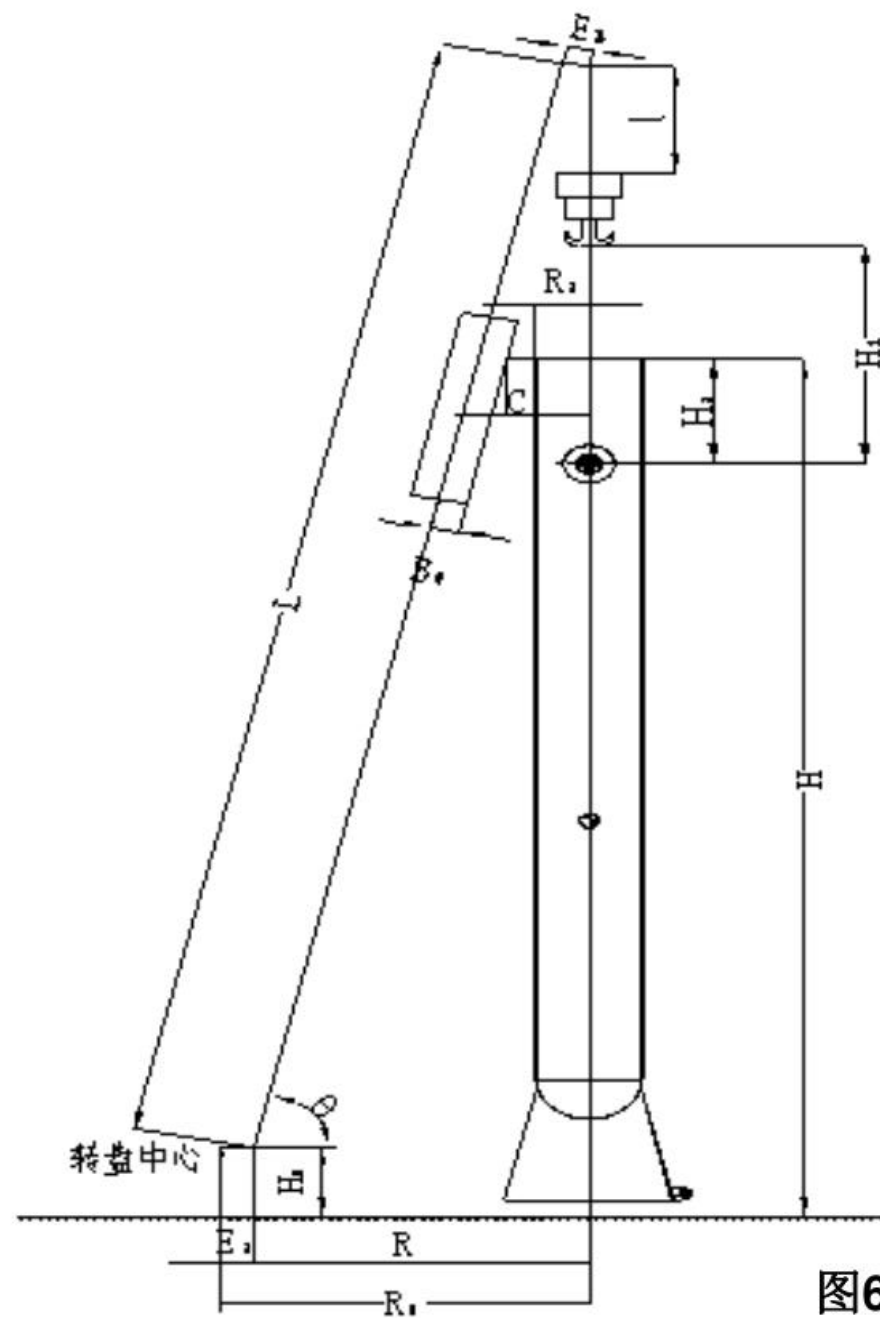


图6: 吊装校核简图

4.2.2 丙烯塔中段吊装空间尺寸校核

吊车扒杆与设备之间的最小间隙根据CAD实际尺寸模拟（如图7），满足安全要求。

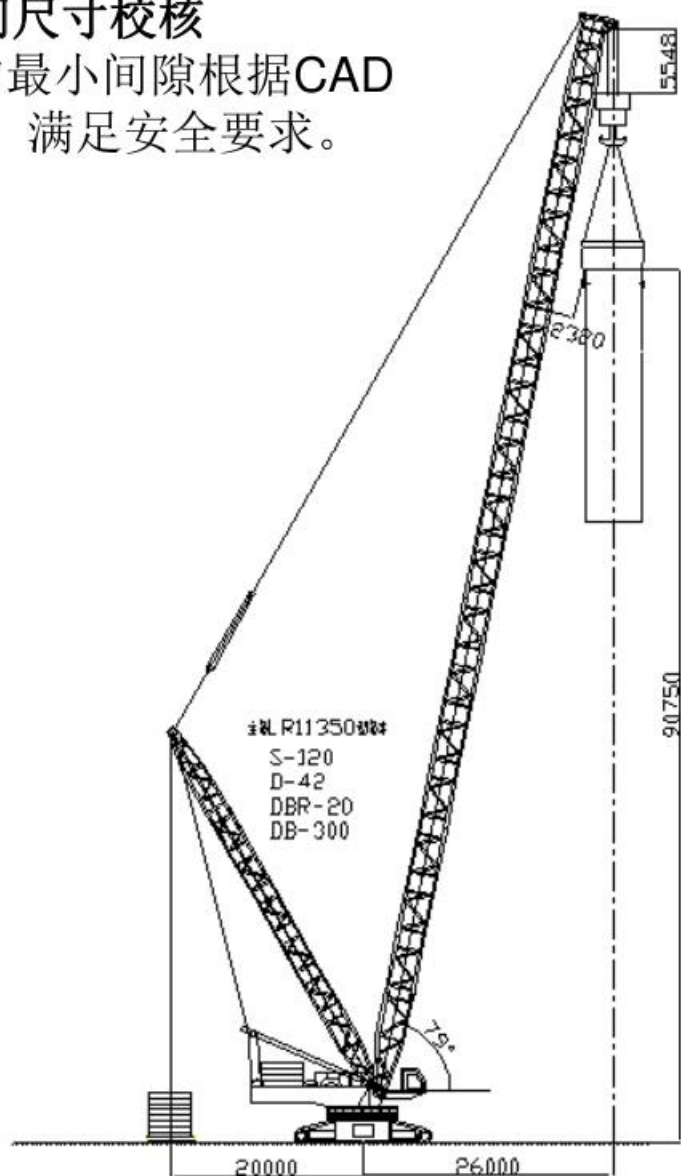


图7、中段吊装就位状态图

4.2.3 丙烯精馏塔上段吊装工艺

以吊装参数用CAD作图，如下图：

由就位状态图得出：吊车吊臂距离平衡梁边缘有1.352m的距离，满足安全要求；吊车定滑轮中心距离吊钩顶部有12.926m的距离，足够吊车滑车与吊装绳扣的距离，满足吊装高度要求。

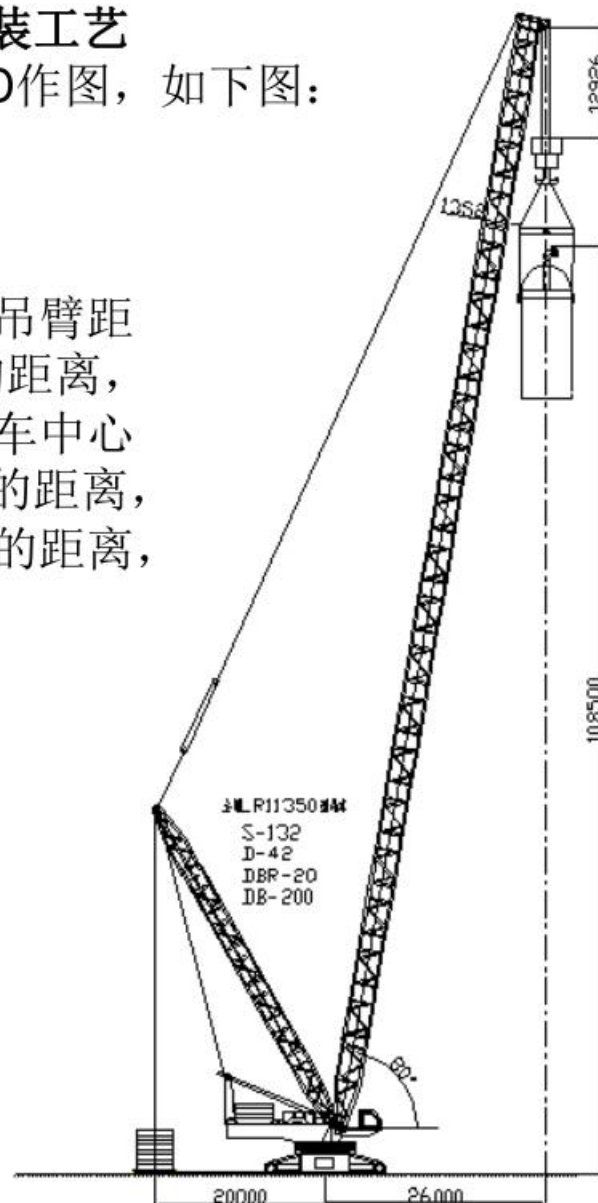


图8、上段吊装就位状态图

4.3平衡梁选择及校核

4.3.1平衡梁的选择

根据丙烯精馏塔设计图纸和制定的吊装方案，在吊装时使用一根支撑式平衡梁。下段最重为**616.2t**，所以设计平衡梁的额定承载能力为**650t**。平衡梁两端为钢板组焊的承压结构，承压结构与支撑梁焊接成一体。

支撑梁为主要承压构件，使用**Φ530×20**无缝钢管制成，材质**20#**。

支撑式平衡梁的使用示意图**9**：

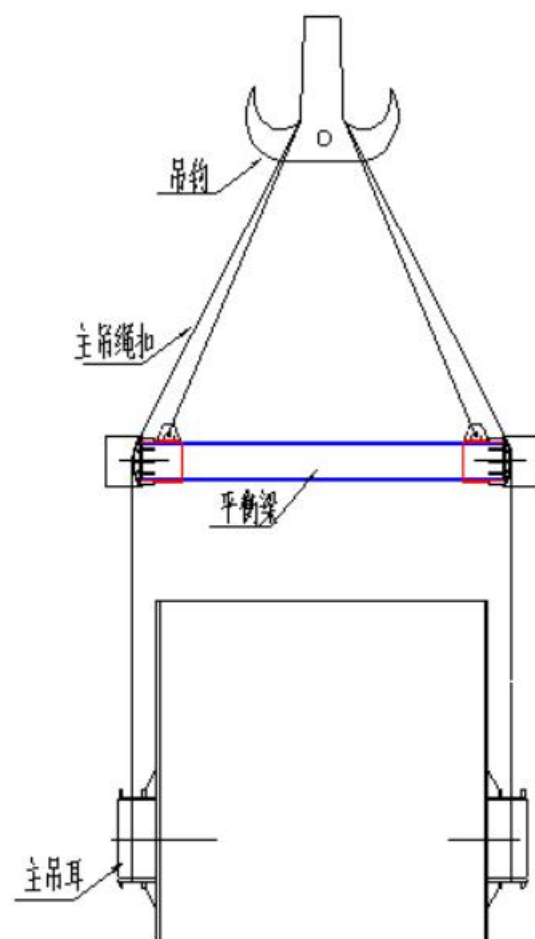
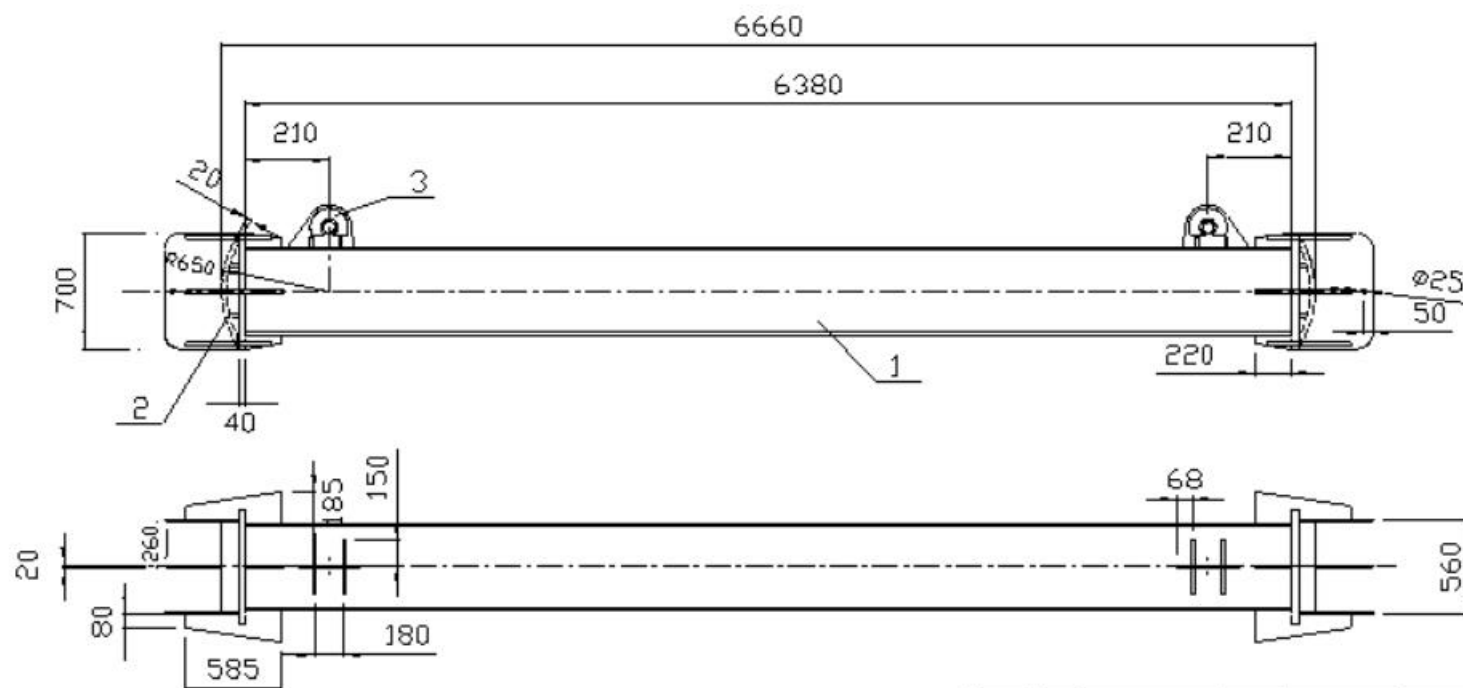


图9、平衡梁连接示意图



技术要求

1. 钢板材质Q235B, 件1材质为20#。
2. 所有焊缝的焊角高度不得低于较薄相焊件厚度, 焊缝均为连续焊, 焊缝不得有夹渣、气孔、裂纹等缺陷。
3. 所有焊缝焊接后要进行渗透检测, 结果应符合JB4730.5-2005, I级合格。

3	悬挂吊耳	2	35	70	附图十一
2	架端承压结构	2	1025	2050	附图八~十
1	直梁	1	2351	2351	附图七
件号	名称	数量	单重(Kg)	总重(Kg)	备注
丙烯精馏塔 支撑式平衡梁装配图					第1页共1页
设计	武兵				中国石油天然气 第一建设公司
制图	武兵				
审核	冯苏山				
批准	王万民				

4.3.2 平衡梁的校核

平衡梁的受力模型见图10

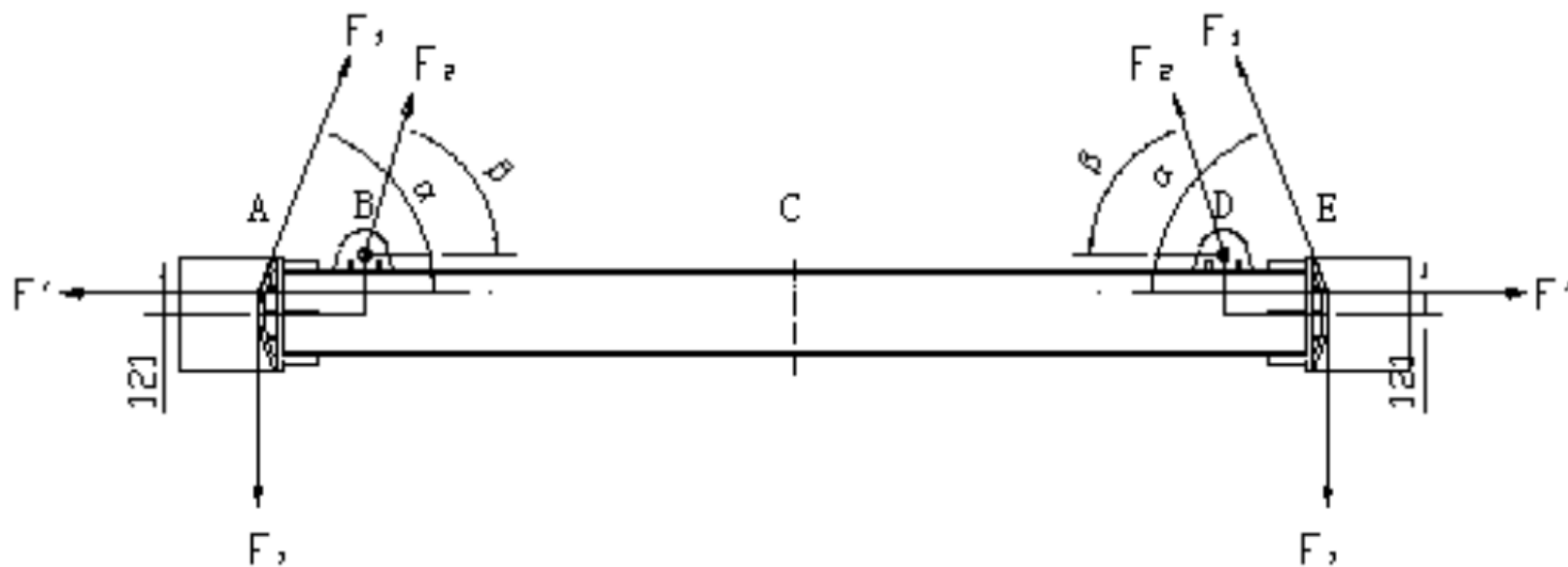


图10、平衡梁受力模型图

校核过程这里就不再详述。

4.4 吊装地基强度计算及处理措施

吊装作业时,1350t履带吊对地面压力很大,为了保证吊装的安全,需要计算吊车站位处地面承载能力。根据受力分析可知,主吊车独自承受吊装重量时(设备就位状态)对地面的压强最大,以此为依据进行地耐力的计算。

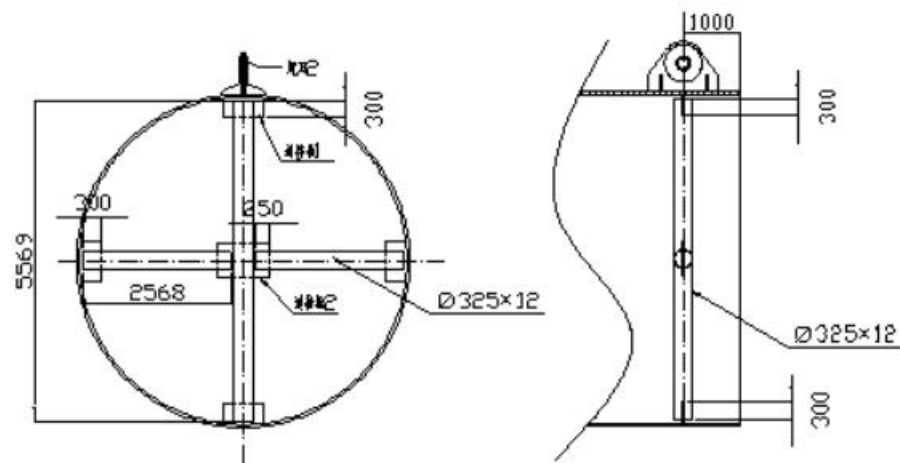
经计算并根据1350 t履带吊模拟试验得出吊车对地面的最大压强为151kPa。

1350t履带吊、750t履带吊作业区域委托试验单位进行地耐力测试,结果应大于300kPa,否则要进行地基处理。吊车地基处理方法为:将回填土开挖2m左右,回填戈壁土,每300mm机械夯实一次,夯实之前需进行洒水,铺垫至到设计标高后平整浇水湿透,用大型压路机压实,使地耐力最终达到大于300kPa2的要求。

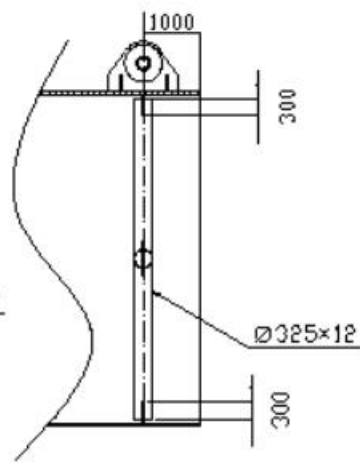
地耐力合格后1350t和750t履带吊在吊车履带板行走路线上铺设路基箱。

4.5吊装加固

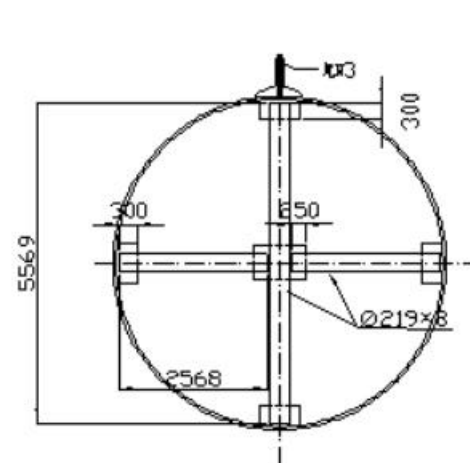
为了防止丙烯精馏塔各段在吊装时产生受力变形，吊装前应对丙烯精馏塔各段抬尾处进行加固，其中下段裙座处加固由设计单位设计，中、上段抬尾加固由我公司设计，均由制造单位制作，抬尾加固详见下图。



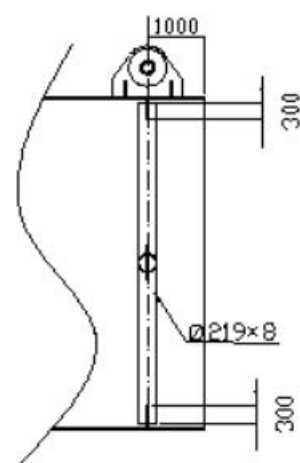
中段溜尾加固1.2t



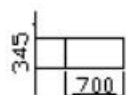
中段溜尾加固1.2t



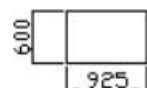
上段溜尾加固0.6t



上段溜尾加固0.6t



20mm厚钢板
8#孔



20mm厚钢板
8#孔

技术要求

1. 连接板与塔体焊接处需开双面55°坡口，所有焊缝的焊角高度不得低于较薄相焊件厚度，焊缝均为连续焊，焊缝不得有夹渣、气孔、裂纹等缺陷。
2. 所有焊缝需进行渗透检测，结果应符合JB4730.5-2005, I级合格。
3. 加固支撑焊接充毕后，与塔体整体热处理。
4. 焊条选用J427。

丙烯精馏塔上、中段 溜尾加固图

图号

日期

设计 武兵
制图 武兵
审核 冯磊山
批准 王万民

中国石油天然气
第一建设公司

5安全质量措施

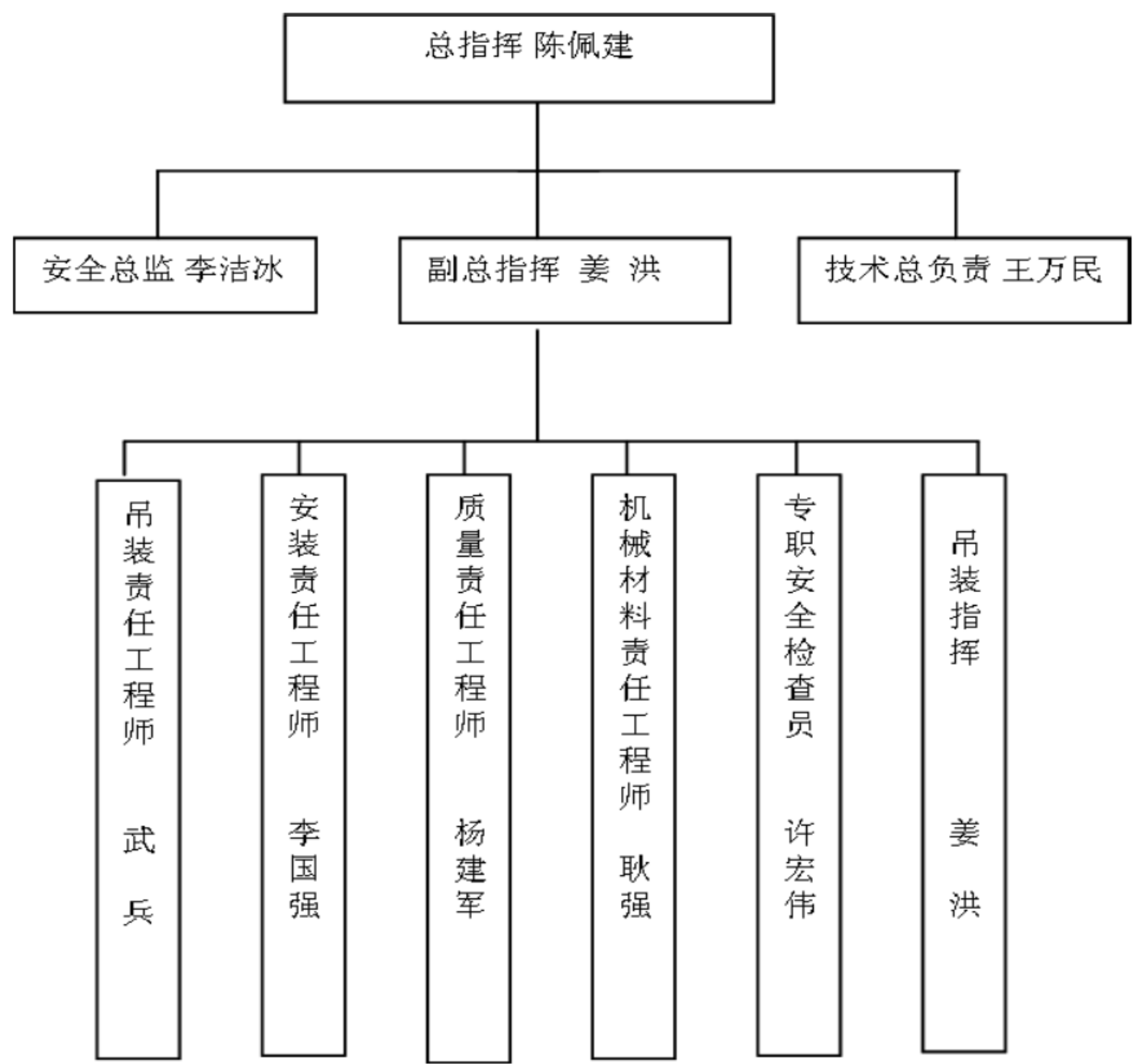
5.1安全管理网

为确保吊装安全，丙烯精馏塔吊装将成立吊装安全组织机构。

吊装总指挥——由项目经理兼任；

吊装副总指挥——由起重队长兼任；

安全总监——由项目主管生产副经理兼任。



5.2 质量保证措施

5.2.1 实行质量责任制：

总指挥—全面负责吊装施工，对吊装安全质量负总责。

副总指挥—负责劳动组织、进度计划、吊装方案的具体实施，对吊装安全负直接责任。安全总监—现场安全总监督。负责组织吊装安全联合大检查，吊装实施过程中的安全检查和监督，对吊装安全负重要责任。

技术总负责—对吊装技术负总责。对吊装方案的编制审核、吊重计算的正确性负直接责任。

吊装责任工程师—吊装方案的准备及具体实施过程中的监督与技术指导。

安装责任工程师—负责设备就位方位及就位后的设备找正和安装质量。

质量责任工程师—负责基础、吊耳及加固质量检查，被吊物体的本体质量检查。

机械、材料责任工程师—负责起重机械的维护保养、安全运行的技术指导和吊装工程所需原、材料的检查确认。

专职安全检查员—负责编制大型吊装HSE风险预案等技术文件，实施吊装作业安全检查。

吊装指挥—负责试吊和正式吊装信号指挥。

起重工执行岗位作业，吊车司机实施吊车吊装工艺操作，监测员负责规定部位的监测，施工中严格按国家、行业、地方强制性标准规范要求进行管理与验收。

5.2.2 所用的吊装机索具必须要有合格证书，否则，不能使用，并落实检查制度。

5.2.3 严格实行“编制、审核、审批”制度。技术措施由项目部审批后，报公司技术发展部，由技术发展部审核，审核通???后，才允许用以指导施工。

5.2.4 贯彻“技术交底”制。吊装施工前，必须对施工队进行交底，并做好技术交底记录。

5.2.5 贯彻质量“三检制”。质量检查实行“自检为主，互检为辅”和“专业检查”相结合的原则。在施工中，关键检查吊车的作业半径、地基和臂杆的情况，钢丝绳的合格和完好情况，必须由两人以上进行确认。

5.2.6 认真检查吊耳及加固的焊接质量，严格按技术要求进行焊接和检测。

- **5.3 HSE措施**

5.3.1全面推行HSE管理体系，做到领导承诺、全员参与、重点监控。建立健全施工安全管理网络，明确现场安全第一责任人、安全监护人。

5.3.2消防道路要畅通，现场必须配置合格的消防器材。

5.3.3施工中，产生的废料、垃圾等物，应放入指定地点。当天施工后，及时做到工完料净场地清。

5.3.4严格遵守厂内的各项管理规定，作业人员必须持证上岗。

5.3.5凡参加吊装人员，必须熟悉本方案内容，并严格执行本方案中安全，技术要求；进入现场人员要做好“三保”利用，高处作业（ $\geq 2\text{m}$ ）要设置可靠的防护措施，系好安全带。

5.3.6严格检查吊车的安全装置，各种吊装索具是否合理、完好、符合要求，正式起吊前，要进行试吊，检查各吊装机索具的情况，待确认没有问题后方可进行正式吊装。

5.3.7吊装时吊装现场 $100\text{m} \times 35\text{m}$ 范围内应设警戒线，关键位置设??人看守，非吊装施工人员严禁入内。

5.3.8吊装作业时防止道木的磕伤、碰伤并做好防护措施。

5.3.9吊装时施工人员不得在工件下、受力索具附近及其他危险地方停留，更不得随同工件或机具升降。

5.3.10在吊装过程中统一使用旗语指挥，做到信号传送准确，要各负其责。

5.3.11吊车履带板站位与行走位置，地面要平整坚实，表面要铺垫戈壁土和路基箱，严格保证吊车对地耐力的要求。

5.3.12五级风以上、雨天、雾天不准吊装。

5.3.13重物起吊时，如必须长时间在空中停留，对于丙烯精馏塔高空组对，由于吊装作业执行时间长，应定期对地基沉降情况、吊车和绳索具等进行检测控制，超起配重离地高度严格按起重机械安全技术规程进行控制，同时，夜间需有专人看管起重机械设备，要认真做好交、接班的工作，并填好交、接班记录，防止事故隐患。

5.3.14施工前，各班组针对当天的施工内容组织召开安全会议，交代施工注意事项、进行的防护措施等情况，并作好安全记录。

5.3.15各工种人员必须严格遵守其本工种的安全操作规程及安全施工规定，各工种之间要相互配合，协调有序，各工序都要设定安全监督负责人。

5.3.16设备吊装行走时，设备底部离地高度应 $\leq 200\text{mm}$ 。

6施工机具

表12、起重机索具一览表

序号	名称	规格、型号	单 位	数量	备注
1	1350t履带吊	LIEBHERR LR11350	台	1	
2	750t履带吊	LIEBHERR LR1750	台	1	
3	150t履带吊	SC1500-2	台	1	
4	50t汽车吊		台	1	
5	无接头绳圈	Φ208mm /40m, 380t	根	2	订做
		Φ160mm/12m, 240t	根	2	订做
		Φ118mm/24m, 130t	根	2	订做
6	钢丝绳	Φ66mm 6×37+FC	m	80	
		Φ60mm 6×37+FC	m	80	
		Φ48mm 6×37+FC	m	80	
		Φ40mm 6×37+FC	m	60	
7	卸扣	s-bx300	个	2	
		s-bx120	个	3	
		s-bx55	个	2	
		s-bx35	个	4	
		s-bx17	个	10	
		s-bx6.5	个	10	
8	路基箱 (1350t)	6000×2200×300mm	块	26	
9	路基箱 (750t)	4000×2000×220mm	块	26	
10	望远镜		个	2	
11	对讲机		部	3	
12	手拉葫芦	10t	台	4	
13	钢盘尺	50m	个	1	

7施工手段用料汇总表

表13、手段用料汇总表

序号	名称	材质	规格	数量	备注
1	钢板	Q235B	$\delta = 40$	6m ²	平衡梁
			$\delta = 20$	5m ²	
		Q345	$\delta = 20$	5m ²	制作 $\Phi 576\text{mm} \times 20$ 钢管
2	无缝钢管	20#	$\Phi 530\text{mm} \times 20$	7m	平衡梁
3	无缝钢管	20#	$\Phi 325\text{mm} \times 12$	12m	吊装加固
4	无缝钢管	20#	$\Phi 219\text{mm} \times 8$	12m	吊装加固
5	道木		220 $\times$ 160 $\times$ 2500	200根	支垫设备
6	铁丝		10#	50Kg	
7	钙基脂			10Kg	
8	白棕绳		4'	600m	
9	场地处理			700m ²	

第三部分、起重吊装的现状与发展

- 一、大型吊装纪录不断被刷新

时 间：2002年11月

项 目：上海炼油厂新建项目

施工单位：中石化宁波工程有限公司

吊装设备：624吨和604吨加氢裂化装置

起 重 机：Demag CC8800型
1250吨履带起重机

意 义：打破了国内单机吊装重量不足
600吨的界限





门式液压提升系统抬吊法吊装:

**2500吨门式液压提升系统和1250吨履带吊车
吊装扬巴工程60万吨乙烯装置845吨丙烯精馏塔
直径8.5m,高95m**

时 间：2006年6月

项 目：内蒙古神华集团煤制
油项目

施工单位：荷兰Mammoet吊装公司

吊装设备：2050吨煤制油反应器

起 重 机：Mammoet MSG80型
3070吨

环轨双臂架起重机

意 义：打破起重机吊装纪录



时 间：2006年6月

项 目：大连石化炼油项目

施工单位：中石油第一设计公司

吊装设备：1206吨的加氢装置反应器

起 重 机：Liebherr LR11350型1350吨
LR1750型750吨履带起重机
双机抬吊



时 间：2008年3月
项 目：惠州炼油项目
施工单位：中石化第十建设公司
吊装设备：两台1328吨
 高压加氢裂化反应器
起 重 机：1600吨液压顶升装置
 Manitowoc的M21000型
 907吨履带起重机
意 义：创造了10天吊装两台
千吨设备的新纪录



时 间：2008年4月-5月

项 目：沙特乙二醇项目

施工单位：中石化第二建设公司

吊装设备：两台超千吨重反应器
1700吨的洗涤塔吊

起 重 机：Mammoet MSG80型 3070吨
Liebherr LR1750型750吨

履带起重机

意 义：创造了石化集团单台最重
设备吊装的记录



二、国内外起重设备发展趋势

Liebherr公司

LTM11200型
1200吨全地面

计划推出
2000吨级履带



Manitowoc公司

GTK1100型



计划推出2300吨履带起重机



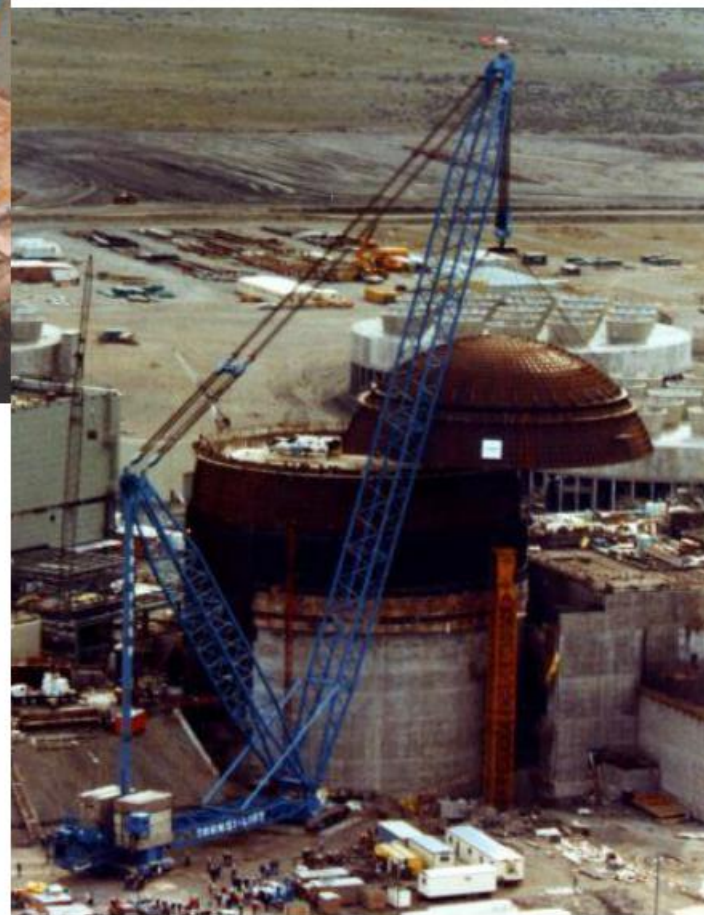
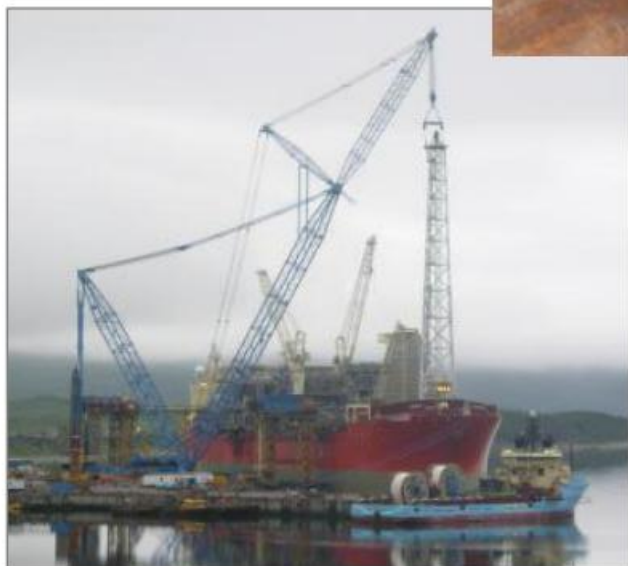
Terex集团

Demag CC8800-1 Twin型3200吨履带起重机



Lampson公司(美国)

LTL-2600型2600吨双履带起重机



风机安装工程用专用起重机



目前已落户到国内的千吨级产品：

Liebherr公司的LR11350型1350吨履带起重机2台

Demag公司的CC8800型1250吨履带起重机1台

Demag公司的CC5800型1000吨履带起重机5台

Manitowoc公司的M21000型1000美吨(907吨)履带起重机1台

近两年内即将落户国内的千吨级产品：

Demag公司的CC8800-1型1600吨履带起重机1台，

Demag公司的CC8800TWIN型3200吨双臂架履带起重机1台

Lampson公司的LTL-2600型2600吨履带起重机2台。

国内企业发展

抚顺挖掘机制造责任有限公司

35吨, 50吨, 80吨, 100吨, 120吨, 150吨, 250吨, 350吨, (500吨)

徐工集团徐州重型机械有限公司

35吨, 50吨, 100吨, 150吨, 220吨, 260吨, 300吨, (350吨), 450吨,
(650吨)

中联重科浦沅分公司

50吨, 70吨, 100吨, 160吨, 200吨, 260吨, 400吨, 600吨, (1000吨)

三一科技有限公司

50吨, 80吨, 150吨, 250吨, 320吨, 400吨, (500吨), 630吨,
(750吨), 900吨, (1600吨)

习题

- 1、起重吊装方案编制的原则是什么？
科学、安全、经济、高效。
- 1、安全是吊装的前提，吊装方法应安全可靠并科学合理。
- 在选择吊装工艺方法、起重设备的选型和能力的核算、吊装安全技术措施采用等几个关键问题上，必须达到安全可靠、科学合理并有效实用。
- 2、尽量提高机械化吊装程度。
- 3、应充分利用已有的吊装机械和机具。
- 4、技术可靠，工艺成熟是吊装方法选择的基础。
- 一般的做法是，依设备的形状、尺寸、质量等参数为主要条件，结合吊装场地的作业环境和吊装机械的能力等初拟数种可采用的工艺方法，继而从多方面进行可行性比较，从中优选。选择时应以安全为前提，以技术可靠、工艺成熟为基础，在兼顾其他。
- 5、对吊装工期、吊装费用进行综合评估选取经济合理，工期正常的最佳方案。
- 6、利用一切有利条件，促进吊装方案科学先进。

- 2、施工现场作业条件（地形、交通、周边环境、地下情况等）
- 现场环境对确定起重作业方案和吊装作业安全有直接影响。现场环境是指作业地点进出道路是否畅通，地面土质坚硬程度，吊装设备，厂房的高低宽窄尺寸，地面和空间是否有障碍物，吊运司索指挥人员是否有安全的工作位置，现场是否达到规定的亮度。
- 3、工程进度安排和要求（机械化吊装程度高低，决定吊装工期的长短）
- 4、现有机具装备情况及施工队伍技术力量
- 1) 机具：
 - 需新增大中型起吊设备；
 - 已有合用的起吊设备；
 - 有经组合或改制可用的起吊机具；
 - 可就近租赁到需要的起吊设备。
- 2) 施工人员：
 - 工程技术人员、指挥吊装人员、操作工人的技术素质和吊装技术状况；
- 5、有关起重吊装规程（包括业主/管理方的相关要求）
- 6、整个工程的施工组织设计
- 7、安全可靠程度：起重吊装工作必须确保安全可靠，把安全摆在第一位
- 8、经济效果：吊装费用合理，施工成本正常
- 9、吊装新工艺、新机具