

转化炉对流段模块吊装流程及计算方法

李海娇 程琦

(上海宝冶集团有限公司 上海 201999)

摘要: 转化炉对流段模块吊装是转化炉施工安装中的重点和难点, 由于模块外形尺寸大, 重量重, 迎风面大, 外围钢结构刚性较差, 吊装中易产生结构变形, 从而导致模块内部衬里易被破坏。设计、制造合适的框架平衡梁作为吊装工具, 借助该平衡梁较好的结构刚性, 可以有效防止对流段模块吊装过程变形, 确保优质高效完成吊装工作。

关键词: 转化炉; 对流段模块化; 吊装

0 引言

通过对化工装置中转化炉的模块化和非模块化的比较分析, 发现转化炉模块化供货在缩短整个项目周期、保证制造质量及控制项目综合成本上具有明显优势^[1-3]。转化炉的模块化应因地制宜, 考虑项目质量、成本和施工环境等因素, 控制好模块化的程度。本文以国外项目为例, 讨论转化炉对流段模块的吊装方案。

1 研究依据

本转化炉项目共有5台转化炉, 炉号A、B、C、D、E, 其中E转化炉对流段模块总重为159t, 为最大的方形对流段模块, 长宽高尺寸为11600mm×4382mm×6830mm, 对流段墙板单片制作, 模块时进行组装。因为车间内部行车不能满足吊装要求, 编制以下吊装方案。

表1 主要构件参数

序号	部位	重量/t	作业半径/m	吊钩起升高度/m	使用吊车	备注
1	对流段模块A	147	7	16	300t汽车吊+160t行车(起吊高度18m)	(长×宽×高) 11600mm×4382mm×6130mm
2	对流段模块B	147	7	16	300t汽车吊+160t行车(起吊高度18m)	(长×宽×高) 11600mm×4382mm×6130mm
3	对流段模块C	147	7	16	300t汽车吊+160t行车(起吊高度18m)	(长×宽×高) 11600mm×4382mm×6130mm
4	对流段模块D	147	7	16	300t汽车吊+160t行车(起吊高度18m)	(长×宽×高) 11600mm×4382mm×6130mm
5	对流段模块E	159	7	16	300t汽车吊+160t行车(起吊高度18m)	(长×宽×高) 11600mm×4382mm×6830mm

2 施工工艺技术

本节主要介绍技术参数、主要模块吊装工况、施工工艺流程、施工方法、操作要求、吊装工程安全技术措施。

2.1 技术参数

2.1.1 主要构件参数

主要构件参数见表1。

2.1.2 主要起重设备部署

本工程包括5件对流段模块的吊装上车, 使用车间B跨160t行车及300t汽车吊, 工厂起重吊装必须保证施工的安全性与可操作性, 需根据实际吊装节点与吊车性能, 合理组织吊装起重设备进场。

中联300t汽车吊ZAT3000V经过场地实测放样与吊车性能比对, 300t汽车吊主要部署在车间模块的右侧。

2.2 主要模块吊装工况

模块吊装工况图如图1所示。

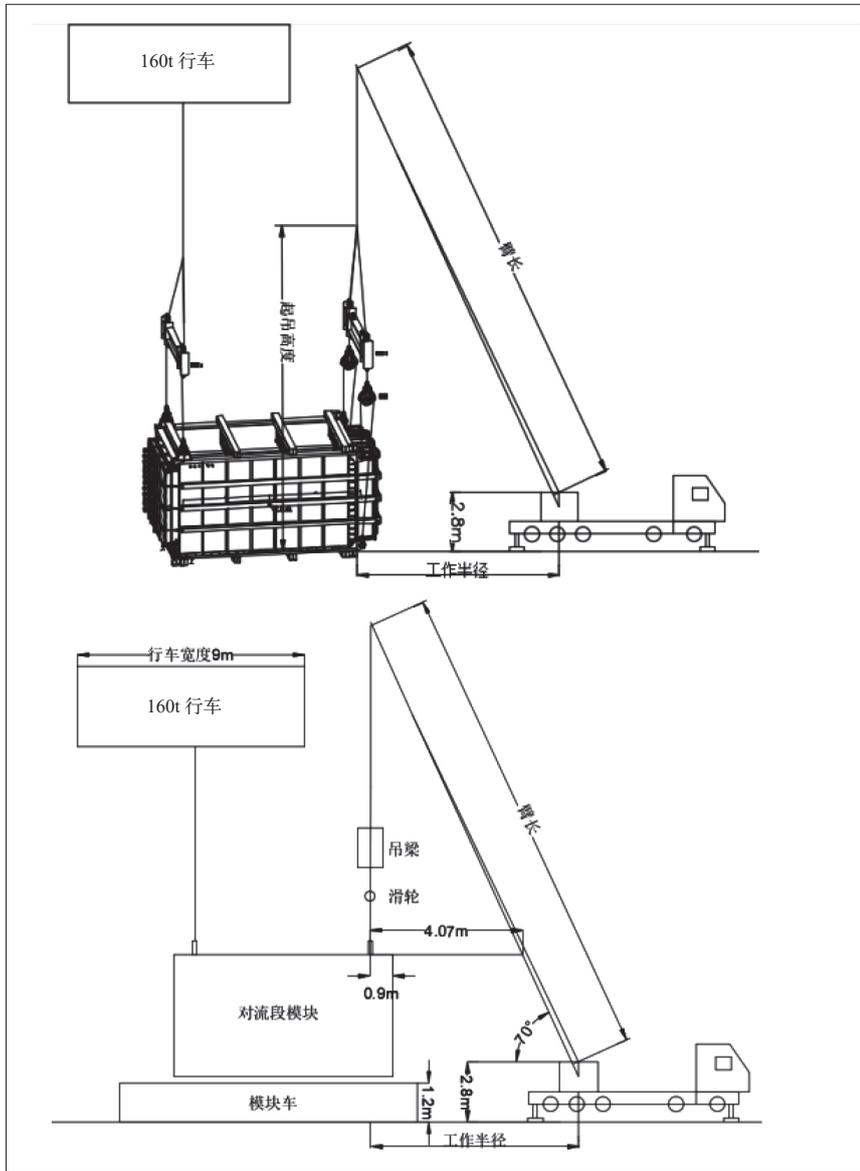


图1 模块吊装工况图

对流段模块底部采用300t汽车吊进行吊装，考虑到底部分担的重量为78.38t及双机抬吊额定载荷不能超过单台吊车的80%，所以需要起重的起重能力为 $78.38 \times 100 / 80 = 97.98t$ ，试选用300t汽车吊，工作半径7m，臂长20.4m，吊装能力为 $120t > 97.98t$ ，满足要求。

2.3 施工工艺流程

对流段模块的吊装顺序根据车间模块布置图进行排序为C→D→A→B→E。

单个模块吊装工序为：吊装准备→平板车就位→双机抬吊→装车就位。

2.4 施工方法

2.4.1 吊装准备

(1) 充分熟悉图纸、施工规范、施工质量检验评

定标准及图集，及时发现图纸中的疑点及与现场施工有冲突的地方，提前与设计办理洽商，做好施工前的图纸自审、内审工作。

(2) 吊装作业前，技术员应组织作业班组每次吊装前进行吊装技术交底工作，使作业班组充分了解吊装方法、检查标准、注意事项等内容。

(3) 对吊装用的吊梁进行检查，检查吊梁合格证及吊梁的探伤报告，对是否安装图纸进行了探访，对吊装用的滑轮进行检查，检查合格证及试验证明文件。

(4) 施工前对车间B跨吊装位置进行清理，并确定吊装作业的吊车通道及吊车站位位置。

(5) 吊装前确认模块已经验收完毕并且具备吊装条件。

2.4.2 双机抬吊

(1) 对流段模块使用160t行车和300t汽车吊进行吊装，同时使用两个吊梁辅助吊装，吊具应通过静载荷进行检验。

(2) 160t行车起吊对流段顶部的4个吊耳，2个吊耳共用一个滑轮，滑轮能够分担受力，顶部的受力可以均匀地分担在顶部4个吊耳上。

对流段底部则由汽车吊一侧吊装，吊梁的下部通过钢丝绳与底部2个吊

耳连接。

2.5 操作要求

(1) 行车和汽车吊吊装前应检查行车是否取得安全准用证，并且在有效期内，安全装置应齐全、工作可靠，零部件符合安全使用要求，驾驶室应有操作规程、日常维护保养记录、运行记录。

(2) 行车工应持证上岗，持有特种人员作业许可证。

(3) 当汽车吊和行车起吊之后，汽车吊应缓慢旋转，同时160t行车配合汽车吊进行同步平移模块，同时每次吊装前应进行专项交底和检查验收。

(4) 模块开始吊装前，应先进行试吊，随后再进行正式吊装。开始试吊时，吊起重物离地约20cm，

静停 5min。观察地基、索具、吊物、吊耳等有无异常情况，如无异常，准备进行吊装。起吊时应统一指挥、信号明确。吊装时应设置警戒区，吊装及回转下方严禁作业。

2.6 吊装工程安全技术措施

(1) 在开工前必须对班组进行详细的安全技术交底，并执行交底和被交底人签字制度。严格执行国家颁布的有关安全生产制度和安全技术操作规程。

(2) 特殊作业工种必须持证上岗。

(3) 吊车作业由专职起重工进行指挥，起重指挥人员必须具有丰富的经验，能够准确、及时传递信号，司机要对指挥发的信号、吊物的捆绑情况、行走通道、起降的空间，确认无误后方能进行操作，严格遵守“十不吊”规定。

(4) 操作人员均应持证上岗。

(5) 在高空作业范围内有效系挂安全带，确保高空作业的安全。

(6) 贯彻落实“三戴齐全”的安全原则。

(7) 施工用的电动器具的接零和接地要齐全有效，漏电开关灵敏可靠。使用前要进行验收才能使用。

(8) 坚持每周安全会制度，总结上周安全情况，分析原因，明确下周安全工作的重点，布置下周安全管理任务。

(9) 进场大型机械按要求报验，对小型工器具进场前做好自检工作，不合格的器具，整改合格后方可投入使用，整改后仍不合格的坚决不准进场。大型施工机械需及时报检、报监。未报检、报监的机械不得进场使用。

(10) 吊具在吊装前对实体及合格证进行检查，检查合格后方可使用。

(11) 起吊用工具和钢丝绳，必须有足够的安全系数。

3 计算书与施工图纸

3.1 起重机的选择计算

(1) 受力分析。汽车吊一侧受力 F_1 和行车一侧受力 F_2 ，起吊重物为 G 按照最重对流段模块 E 分析 $G=159t$ ，水平起吊的平衡力分析 $F_1 \times F_2 = G$ ，重心的力矩平衡分析：

$$F_1 \times D_1 = F_2 \times D_2 \quad (1)$$

式中： F_1 —汽车吊一侧受力；

D_1 —行车吊一侧距离；

F_2 —行车吊一侧受力；

D_2 —汽车吊一侧距离。

代入 $D_1=4605mm$ 和 $D_2=3935mm$ （两侧吊耳之间的距离为 8540mm，因为不是对称模块，所以重心靠右）：

$$F_2 = (G \times D_1) / (D_1 \times D_2) = 85.74t \quad (2)$$

$$F_1 = G - F_2 = 73.26t \quad (3)$$

(2) 汽车吊选择。 F_1 侧由 300t 汽车吊进行吊装，钢丝绳卸扣（不足 1t 按照 1t 计算）及吊钩 1.7t、吊梁 2（2.42t）的重量为 5.12t，行车总起重重量为 78.38t，考虑到双机抬吊额定载荷不能超过单台吊车的 80%，所以需要起重的起重能力为 $78.38 \times 100 / 80 = 97.98t$ ，试选用 300t 汽车吊，工作半径 7m，臂长 20.4m，吊装能力为 120t > 97.98t，满足要求，选用 300t 吊车。

(3) 行车选择。 F_2 由车间 B 跨模块化区域 160t 行车起吊，钢丝绳滑轮（不足 1.5t，按照 1.5t 计算）及吊梁 1（3.16t）的重量为 4.66t，行车总起重重量为 90.40t，考虑到双机抬吊额定载荷不能超过单台吊车的 80%，所以需要起重的起重能力为 $90.40 \times 100 / 80 = 113t$ ，行车起重能力为 160t > 113t，满足条件。

(4) 吊车工况。垂直位置起吊 95.85t，300t 汽车吊工况中长臂 20.4m（车间厂房内高度 25m），作业半径 7m，起重量 120t，120t > 95.85t，当吊装到最高点 8m 位置，吊装夹角为 70° 时，构件最右端到吊臂的距离等于 3.1m，不存在卡杆现象，满足条件。

3.2 钢丝绳计算

3.2.1 钢丝绳直径计算

D_{WL} ：吊装物体与吊梁之间的钢丝绳最小直径； D_{HL} ：滑轮与吊梁之间的钢丝绳最小直径； D_{WH} ：吊装物体与滑轮之间的钢丝绳最小直径； D_{LG} ：吊梁与吊钩之间的钢丝绳最小直径。吊装受力情况见表 2。

3.2.2 钢丝绳吊装破断拉力

根据表 2 理论计算公式，取最大受力条件 α 为 300；安全系数为 5；根据吊装物体的重量及钢丝绳数量，获得表 2 在吊装各个物体时钢丝绳的最小破断拉力，用 T 表示，单位为 kN。吊装物体钢丝绳最小破断拉力明细表见表 3。

根据《钢丝绳通用技术条件》(GB/T 20118-2017) 与《粗直径钢丝绳》(GB/T 20067-2017) 中的

表2 吊装受力计算表

吊装受力计算表 (E 模块)			
名称	符号	数值	单位
设备重量	G	159.00	t
F_1 到重心距离	D_1	4605.00	mm
F_2 到重心距离	D_2	3935.00	mm
行车侧受力	$F_2 = (G \times D_1) / (D_1 \times D_2)$	85.74	kN
汽车吊侧受力	$F_2 = G - F_2$	73.26	kN
钢丝绳及滑轮、吊梁重量 (行车侧)	W_2	4.66	t
钢丝绳及吊梁重量 (吊车侧)	W_1	5.12	t
起吊总重量 (行车侧)	$W_{T2} = F_2 + W_2$	90.40	t
起吊总重量 (吊车侧)	$W_{T1} = F_1 + W_1$	78.38	t
起重机许用额定起重量 (行车侧 80%)	$W_{X2} = W_{T2} / 0.8$	113.00	t
起重机许用额定起重量 (吊车侧 80%)	$W_{X1} = W_{T1} / 0.8$	97.98	t
滑轮到吊梁受力 (行车侧)	$F_{WH} = F_{HL} = / 0.8$	42.87	kN
物体到滑轮受力 (行车侧)	$F_{WH} = F_{HL} = / 2$	21.43	kN
物体到吊梁受力 (吊车侧)	$F_{WH} = F_1 = / 2$	36.63	kN
吊梁到吊钩受力 (行车侧)	$F_{ILG} = W_{T1} / (N \times \cos \alpha)$	51.01	kN
吊梁到吊钩受力 (吊车侧)	$F_{ILG} = W_{T1} / (N \times \cos \alpha)$	44.23	kN
钢丝绳与铅垂线的最小夹角	α	30°	
钢丝绳受力夹角系数	$\cos \alpha$	0.89	
钢丝绳安全系数	k	5.00	
称重绳分支数	n	2.00	
吊梁到吊钩钢丝绳最大许用力 (行车侧)	$P_{2LG} = W_{T2} \times g \times k / (n \times \cos \alpha)$	2499.69	kN
吊梁到滑轮钢丝绳最大许用力 (行车侧)	$P_{2LG} = F_2 \times g \times k / 2$	2100.56	kN
物体到滑轮钢丝绳最大许用力 (行车侧)	$P_{2WH} = F_2 \times g \times k / 4$	1050.28	kN
吊梁到吊钩钢丝绳最大许用力 (汽车吊侧)	$P_{ILG} = W_{T1} \times g \times k / (n \times \cos \alpha)$	2167.47	kN
吊梁到物体钢丝绳最大许用力 (汽车吊侧)	$P_{1LW} = F_1 \times g \times k / 2$	1794.94	kN

钢丝绳最小破断拉力表在满足最小破断拉力的情况下,选择钢丝绳时可以根据实际情况进行选择。

3.2.3 钢丝绳长度计算

钢丝绳的长度与起升高度及钢丝绳与吊梁的长度及水平夹角有关,以汽车吊这一侧为例,吊车的起吊高度在满足上述要求的情形下,各个吊装物体的钢丝绳长度见表4。

3.3 卸扣的选用

卸扣选用方法。起吊重物时一般需要钢丝绳配合卸扣使用。卸扣规格选择主要考虑其额定荷载,常用D型卸扣型式,根据钢丝绳的受力选用不小于相应拉力的卸扣。根据每个钢丝绳受力大小选择卸扣。卸扣选用见表5。

3.4 吊耳复核计算

对吊耳进行复核计算,确定吊耳符合设计要求。

4 结语

该项目对转化炉对流段采用模块吊装方案,在缩短建设工期的同时具有一定的施工难度,为将大型结构模块安全准确地吊装就位,对结构模块吊装进行有限元分析,确定模块吊装时最大变形和应力,并对构件进行规范验算。

大跨度钢结构一般采用高空散拼成型、整体吊装或者分段吊装的施工方式。受自身结构和外部因素影响,大跨度钢结构在装配过程中易出现失稳、变形或局部破坏等问题。因此,选用合理的吊装方案也是实际施

表3 吊装物体钢丝绳最小破断拉力明细表

吊装物体明细	吊装物体重量 /t	加吊梁重 /t	吊梁至物体(滑轮)受力钢丝绳数量 /根	滑轮至模块钢丝绳数量 /根	吊梁至吊钩受力钢丝绳数量 /根	物体至吊梁(滑轮) T/kN	滑轮至吊梁 T/kN	吊钩至吊梁 T/kN
E 模块行车侧 F_2	85.73	90.39	2	2	2	1050	2100	2499
E 模块汽车吊侧 F_1	73.26	76.68	2		2	1795		2167
ABCD 模块行车侧 F_2	74.2	78.87	2	2	2	909	1818	2231
ABCD 模块汽车吊侧 F_1	72.8	76.21	2		2	1783		2156

表4 钢丝绳长度

吊装物体明细	吊装物体重量 /t	加吊梁重量 /t	吊点至吊梁钢丝绳长度 /m	吊梁至吊钩钢丝绳长度 /m	备注
E 模块行车侧 F_2	85.73	90.39	其中滑轮到吊点 10m, 滑轮到吊梁 2m	6	吊梁长度 4.35m
E 模块汽车吊侧 F_1	73.26	76.68	3	6	吊梁长度 3.98m
ABCD 模块行车侧 F_2	74.2	78.87	其中滑轮到吊点 10m, 滑轮到吊梁 2m	6	吊梁长度 4.35m
ABCD 模块汽车吊侧 F_1	72.8	76.21	3	6	吊梁长度 3.98m

表5 卸扣选用

吊装物体明细	吊装物体重量 /t	加吊梁重量 /t	物体至吊梁(滑轮)钢丝绳 T/kN	吊点卸扣 /t	滑轮至吊梁 T/kN	吊点卸扣 /t	吊梁至吊钩钢丝绳 T/kN	吊梁卸扣 /t
E 模块行车侧 F_2	85.73	90.39	21.4	25	42.9	55	69	85
E 模块汽车吊侧 F_1	73.26	76.68	36.6	55			59	85
ABCD 模块行车侧 F_2	74.2	78.87	19.7	25	37.1	55	60	85
ABCD 模块汽车吊侧 F_1	72.8	76.21	36.4	55			59	85

工中的一大难点。在整个项目施工、设备吊装过程中,要严格按照方案执行,确保设备的安全安装。在吊装过程中要注意吊点位置的合理性,同时在正式吊装前要进行试吊翻身,确保吊装过程的安全性。

参考文献:

[1] 鲍润初. 大跨度钢桁架结构吊装施工技术 [J]. 安

装, 2022(12):37-39.

[2] 易志勇, 范建琳. 转化炉的模块设计、供货与施工 [J]. 化肥设计, 2020, 58(02):47-50.

[3] 吕志强. 年产 20 万吨甲醇装置转化炉对流段换热器的吊装 [J]. 内蒙古石油化工, 2006(04):71.

作者简介: 李海娇(1986.04-), 女, 汉族, 上海人, 硕士研究生, 工程师, 研究方向: 焊接。