



中国石油天然气集团公司统编培训教材

工程建设业务分册

大型设备吊装技术

《大型设备吊装技术》编委会 编



石油工业出版社

中国石油天然气集团公司统编培训教材

工程建设业务分册

大型设备吊装技术

《大型设备吊装技术》编委会 编

石油工业出版社

内 容 提 要

大型设备的起重吊装是工程建设中一个重要的施工程序。本书介绍了石油化工大型设备特点、大型设备吊装技术的发展历程、各种吊装机械及其应用、吊装机具的选用与计算、设备吊装方案的编制与实施等方面的内容,并对一些吊装方法结合典型案例进行了详细分析。此外对大型设备吊装 HSE 管理也作了详细地介绍,包括“两书一表”、应急预案与演练、HSE 现场管理等内容。

本书供大型设备起重吊装方面的从业人员作培训教材使用,也可供施工企业、监理公司的施工管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

大型设备吊装技术/《大型设备吊装技术》编委会编.
北京:石油工业出版社,2012.5

(中国石油天然气集团公司统编培训教材)

ISBN 978-7-5021-8378-3

I. 大…

II. 大…

III. 石油化工设备:大型设备-设备安装-技术培训-教材

IV. TE682

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 062469 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:www.petropub.com.cn

编辑部:(010) 64523589 发行部:(010) 64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

2012 年 5 月第 1 版 2012 年 5 月第 1 次印刷

787×960 毫米 开本:1/16 印张:30.75

字数:513 千字

定价:108.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

《中国石油天然气集团公司统编培训教材》

编 审 委 员 会

主任委员：李万余

副主任委员：金 华 白泽生

委 员：王志刚 连建家 胡宝顺 马晓峰

卢丽平 杨大新 吴苏江 杨 果

方朝亮 王同良 刘江宁 卢 宏

周国芳 雷 平 马新华 戴 鑑

上官建新 陈健峰 秦文贵 杨时榜

何 京 张 镇

秘 书：张玉文 王子云

《大型设备吊装技术》编委会

主 任：白玉光

副主任：杨庆前 杨时榜

委 员：于国锋 孙 申 田创举 赵彦龙 辛荣国

刘春贵 朱广杰 李松柏 孟 博 李明华

陈中民 何凤轩 刘晓明 周 平 徐 鹰

陶 涛 王 立

《大型设备吊装技术》编审人员

主 编：关则新

执行主编：关则新

副 主 编：李玉磊 余 军 蒋平国 薛金保

编写人员：王永毅 李新明 张仕经 徐志刚 王启宇

李景乐 石军宏

审定人员：杨庆前 王宝龙 刘春贵

序

企业发展靠人才，人才发展靠培训。当前，集团公司正处在加快转变增长方式，调整产业结构，全面建设综合性国际能源公司的关键时期。做好“发展”、“转变”、“和谐”三件大事，更深更广参与全球竞争，实现全面协调可持续，特别是海外油气作业产量“半壁江山”的目标，人才是根本。培训工作作为影响集团公司人才发展水平和实力的重要因素，肩负着艰巨而繁重的战略任务和历史使命，面临着前所未有的发展机遇。健全和完善员工培训教材体系，是加强培训基础建设，推进培训战略性和国际化转型升级的重要举措，是提升公司人力资源开发整体能力的一项重要基础工作。

集团公司始终高度重视培训教材开发等人力资源开发基础建设工作，明确提出要“由专家制定大纲、按大纲选编教材、按教材开展培训”的目标和要求。2009年以来，由人事部牵头，各部门和专业分公司参与，在分析优化公司现有部分专业培训教材、职业资格培训教材和培训课件的基础上，经反复研究论证，形成了比较系统、科学的教材编审目录、方案和编写计划，全面启动了《中国石油天然气集团公司统编培训教材》（以下简称“统编培训教材”）的开发和编审工作。“统编培训教材”以国内外知名专家学者、集团公司两级专家、现场管理技术骨干等力量为主体，充分发挥地区公司、研究院所、培训机构的作用，瞄准世界前沿及集团公司技术发展的最新进展，突出现场应用和实际操作，精心组织编写，由集团公司“统编培训教材”编审委员会审定，集团公司统一出版和发行。

根据集团公司员工队伍专业构成及业务布局，“统编培训教材”按“综合管理类、专业技术类、操作技能类、国际业务类”四类组织编写。综合管理类侧重中高级综合管理岗位员工的培训，具有石油石化管理特色的教材，以自编方式为主，行业适用或社会通用教材，可从社会选购，作为指定培训教材；专业技术类侧重中高级专业技术岗位员工的培训，是教材编审的主体，



按照《专业培训教材开发目录及编审规划》逐套编审，循序推进，计划编审300余门；操作技能类以国家制定的操作工种技能鉴定培训教材为基础，侧重主体专业（主要工种）骨干岗位的培训；国际业务类侧重海外项目中外员工的培训。

“统编培训教材”具有以下特点：

一是前瞻性。教材充分吸收各业务领域当前及今后一个时期世界前沿理论、先进技术和领先标准，以及集团公司技术发展的最新进展，并将其转化为员工培训的知识和技能要求，具有较强的前瞻性。

二是系统性。教材由“统编培训教材”编审委员会统一编制开发规划，统一确定专业目录，统一组织编写与审定，避免内容交叉重叠，具有较强的系统性、规范性和科学性。

三是实用性。教材内容侧重现场应用和实际操作，既有应用理论，又有实际案例和操作规程要求，具有较高的实用价值。

四是权威性。由集团公司总部组织各个领域的技术和管理权威，集中编写教材，体现了教材的权威性。

五是专业性。不仅教材的组织按照业务领域，根据专业目录进行开发，且教材的内容更加注重专业特色，强调各业务领域自身发展的特色技术、特色经验和做法，也是对公司各业务领域知识和经验的一次集中梳理，符合知识管理的要求和方向。

经过多方共同努力，集团公司首批39门“统编培训教材”已按计划编审出版，与各企事业单位和广大员工见面了，将成为首批集团公司统一组织开发和编审的中高级管理、技术、技能骨干人员培训的基本教材。首批“统编培训教材”的出版发行，对于完善建立起与综合性国际能源公司形象和任务相适应的系列培训教材，推进集团公司培训的标准化、国际化建设，具有划时代意义。希望各企事业单位和广大石油员工用好、用活本套教材，为持续推进人才培训工程，激发员工创新活力和创造智慧，加快建设综合性国际能源公司发挥更大作用。

《中国石油天然气集团公司统编培训教材》

编审委员会

2011年4月18日

前言

随着炼油、石油化工装置朝着规模化、大型化发展，装置中的各类设备（如塔设备、反应器等）也随着装置生产能力的扩大而变得质量越来越重、直径越来越大、高度越来越高。以前塔类设备的质量超过五六百吨和反应器的质量超过七八百吨的非常少见，石油化工装置中的设备几乎没有质量超过千吨的，而现在反应器的质量超过千吨的比比皆是，质量超过千吨的塔类设备在一些项目里也经常出现，所以对大型设备吊装技术及吊装机具的要求越来越高。而大型设备吊装工艺方法复杂，技术难度大，安全要求高，需耗用巨大的人力、物力。因此，大型设备的起重、吊装是工程建设中的一个重要施工程序，同时也是决定整个项目安装施工安全、质量和进度的关键环节。

为了使中国石油天然气集团公司（简称“集团公司”）的从业人员能适应国内工程建设项目大型设备吊装的特点，进一步提高业务能力和管理水平，根据集团公司人事部《关于做好集团公司员工培训教材（课件）开发工作的通知》（人事函〔2009〕3号）要求，编写了这本《大型设备吊装技术》培训教材。本书着重介绍了吊装机械及其应用、吊装机具的选用与计算，重型设备吊装、设备吊装方案的编制与实施等方面的内容。

本教材由中国石油天然气第六建设公司与中国石油天然气第一建设公司共同合作编写，共有绪论及五章正文，另外还有八章附录，其中第一章第一节及第五章第三节由中国石油天然气第一建设公司完成，其余的全部内容由中国石油天然气第六建设公司完成。

由于水平有限，难免有错误和不足之处，恳请读者批评指正。

编者

2011年12月

目 录

绪 论	1
第一节 大型设备	1
一、塔类	2
二、反应器类	2
三、高柔结构	3
第二节 大型设备吊装技术的发展历程	3
一、桅杆式起重机吊装方法	4
二、重型吊车吊装方法	7
三、液压吊装系统吊装方法	11
第一章 吊装机械的介绍与应用	14
第一节 桅杆式起重机	14
一、介绍	14
二、应用	36
第二节 流动式起重机	42
一、介绍	42
二、相关计算	48
第三节 门式液压吊装系统	53
一、分类与构造	54
二、钢缆千斤顶门式液压吊装系统	59
三、爬升千斤顶门式液压吊装系统	72
第四节 特殊的液压吊装系统	79
一、环梁式液压吊装系统	79
二、伸缩式套筒液压油缸千斤顶吊装系统	88
第二章 吊装机具	92
第一节 吊耳	92
一、设计分类	92



二、强度计算	96
第二节 平衡梁	116
一、典型结构	116
二、强度计算	118
第三节 滑车与滑车组	120
一、滑车类型及作用	120
二、滑车的用途和计算	127
三、滑车组	128
四、滑车使用的注意事项	135
第四节 地锚	136
一、形式及埋设	136
二、地锚的计算	139
第五节 拖排	148
一、常用拖排的结构形式	149
二、拖排运输	150
三、尾排滑移	156
第六节 设备裙座加固	160
一、加固方式	160
二、加固实例	162
第三章 大型设备吊装方案的编制与实施	167
第一节 方案编制前的准备	167
一、调研	167
二、技术准备	168
三、资料准备	170
第二节 方案应具备的基本内容	170
一、编制原则	170
二、内容	171
第三节 吊装方案的审查	185
一、吊装方案审查程序	185
二、方案审查方式	186
三、方案审查内容	186
四、吊装方案编制中的一些共性问题	187
第四节 设备吊装方案的实施与安全注意事项	189

一、方案的实施	189
二、安全注意事项	192
第四章 HSE 管理	195
第一节 HSE 计划书	195
一、封面、HSE 承诺及发布声明	195
二、工程概述	196
三、公司及项目部 HSE 目标和政策	197
四、人员组织机构和职责	198
五、危害识别与控制	206
六、应急计划	208
七、管理制度和文件控制	208
八、信息交流	209
九、监测和整改	211
十、审核和总结回顾	213
第二节 HSE 作业指导书及检查表	213
一、封面、HSE 承诺及声明	213
二、目的和范围	213
三、应用标准和术语定义	214
四、HSE 管理体系概述	214
五、组织机构	214
六、风险削减与控制	219
七、应急管理	222
八、记录与考核	222
九、检查表	222
第三节 应急预案与演练	225
一、目的和范围	225
二、编制说明	226
三、编制依据	226
四、应急抢险的原则	227
五、应急组织机构和职责	227
六、HSE 风险及危害评价	228
七、应急预案	228
八、应急设备及物资清单	231

九、应急预案演练	232
十、逃生路线图	233
第四节 HSE 现场管理	233
一、HSE 管理策划	233
二、吊装施工方案编制	234
三、吊装前准备	235
四、吊装过程实施	236
五、规章与安全禁令	237
第五章 典型案例	239
第一节 单机提升法	239
一、常用吊装方式	239
二、单机提升法案例	245
第二节 双机主吊或多机联合抬吊吊装方法典型案例	276
一、双机主吊法	276
二、多机联合抬吊法	305
第三节 桅杆滑移法及扳吊法吊装案例	318
一、桅杆滑移法	318
二、单桅杆扳吊法	331
第四节 门式液压吊装系统吊装典型案例	346
一、钢缆千斤顶门式液压吊装系统吊装	346
二、爬升千斤顶门式液压吊装系统吊装	372
第五节 环梁式液压吊装系统吊装典型案例	389
一、设备参数	390
二、MSG-80 的性能特点	390
三、地基处理	390
四、系统组装	391
五、尾排	394
六、运输	395
七、平面布置	396
八、主吊结构	396
九、吊装	397
第六节 大型设备短距离水平移位典型案例	398
一、大型履带式吊车吊装运输	398

二、大型液压平板车运输	398
三、滑移法	399
附录	406
附录 1 钢丝绳及附件	406
一、钢丝绳的类型	406
二、钢丝绳的主要类型和参数	411
三、钢丝绳检查与试验	419
四、钢丝绳的许用拉力	420
五、旧钢丝绳的折减使用和报废	421
六、钢丝绳附件	423
附录 2 卸扣	427
附录 3 大型吊装对地基的要求及处理方法	432
一、一般要求	432
二、岩土分类	433
三、换填垫层法	436
附录 4 常用型材截面的几何及力学特性	440
一、截面的几何及力学特性	440
二、常用几何体的面积、体积及重心位置	440
三、几种钢材的断面常数	447
附录 5 风载荷计算	460
一、风载荷体形系数 C 的计算	461
二、风压高度修正系数 K_h 值的确定	464
三、基本风压和脉动性问题	464
四、桅杆风载荷的计算	468
参考文献	473

绪 论

随着科技发展及经济的快速增长,我国综合国力不断增强,同时对能源的需求量大大增加,炼油、石油化工装置朝着规模化、大型化的方向发展。在 20 世纪 90 年代中期,我国的石油化工装置主要还是以 $250 \times 10^4 \text{t/a}$ 炼油装置、 $30 \times 10^4 \text{t/a}$ 乙烯裂解装置为主。而到了 21 世纪初期,已有大批在规模上上了一个等级的石油化工装置建成并投入生产:新建炼油装置的生产能力基本上达到 $800 \times 10^4 \text{t/a}$ 、 $1000 \times 10^4 \text{t/a}$,甚至达到 $1200 \times 10^4 \text{t/a}$ 的规模;而乙烯裂解装置的生产能力更是达到了 $80 \times 10^4 \text{t/a}$ 、 $90 \times 10^4 \text{t/a}$ 、 $100 \times 10^4 \text{t/a}$,甚至达到 $120 \times 10^4 \text{t/a}$ 的规模。根据国家能源发展的规划,相信在未来不长的时间里,在我国将会有规模更大的炼油和石油化工装置开工建设。作为工程建设中的一个重要的施工程序,设备吊装也是决定项目能否安全施工、达到质量和进度目标的关键环节,特别是大型、超重设备的吊装,往往对整个项目的施工起着决定性的作用。

第一节 大型设备

按照国家标准《石油化工大型设备吊装工程规范》,大型设备是指设备质量不小于 100t 或高度(长度)不小于 60m 的设备,往往是一些立式圆筒形的塔类设备及反应器等,另外就是以火炬、排气筒及大型钢结构框架等为代表的高柔结构。

大型设备吊装具有明显的单件性、灵活性和不可挽回性的特点。单件性,是指吊装对象每台都各有其特征,各项工程中没有或较少重复多次出现同一事物;因此,对每一吊装对象在吊装时必须逐一对待,这样就增加了工作的难度和复杂性。灵活性,是指吊装工艺的多样化,必须因地制宜、因时制宜、因人制宜的选用,即影响吊装工艺的因素比较多,在安全的前提下,综合权衡技术、经济等方面的利弊才能选定比较合理的工艺。不可挽回性,是指吊装对象一旦安装到位,就难以将其推倒重来,大型设备吊装工作必须做到万



无一失，否则损失巨大、隐患无穷。因此，工程建设中的大型设备吊装工作必须认真对待，绝对不可掉以轻心。

一、塔类

塔类设备大型化发展的趋势较为明显，在 20 世纪建成的炼油、石油化工装置中较为典型的大型塔类设备，如北京燕山石化公司 $30 \times 10^4 \text{ t/a}$ 乙烯装置丙烯精馏塔，直径为 4.5m，高度为 87m，质量为 510t（1975 年），这是当时我国炼油、石油化工装置中最高、最重的塔类设备。但进入 21 世纪后，在扬巴、上海赛科和中海壳牌 3 套大型乙烯合资合作项目的建设过程中，设备向大型化方向发展。如扬巴一体化工程 $60 \times 10^4 \text{ t/a}$ 乙烯装置中的丙烯精馏塔，直径为 8.5m，高度为 95m，质量为 845.8t（2003 年）；上海赛科乙烯项目 $90 \times 10^4 \text{ t/a}$ 乙烯装置中的丙烯精馏塔，直径为 7.0m，高度为 97m，质量为 1060t（2003 年）；中海壳牌南海乙烯项目 $80 \times 10^4 \text{ t/a}$ 乙烯装置中的丙烯精馏塔，直径为 6.9m，高度为 94m，质量为 1240t（2004 年）；以及内蒙古多伦煤基烯烃项目中的丙烯精馏塔，直径为 8.0m，高度为 100.5m，质量为 1800t（2007 年）。福建漳州 PX 项目中的二甲苯塔，直径为 6.8~8.8m，高度为 122.35m，质量为 1250t，这台塔类设备在高度上又有了新的突破，是国内整体吊装最高的塔类设备。

二、反应器类

反应器类设备以加氢裂化反应器和渣油加氢反应器为代表。反应器类设备往往都是要求整体吊装，这类设备壁板厚、质量重，但高度却不是太高。“矮”和“重”是反应器类设备的特点。其吊装的难度与塔类设备相比较，在质量相差不多的情况下，反应器类设备吊装难度要小一些。

反应器类设备大型化发展的趋势同样也较为明显。在 20 世纪建成的炼油、石油化工装置中较为典型的反应器类设备，如齐鲁石化公司 $140 \times 10^4 \text{ t/a}$ 加氢裂化装置的加氢精制反应器，直径为 4.0m，高度为 45.4m，质量为 937t（1999 年），它是当时我国加氢裂化装置质量最重的反应器；上海高桥石化公司 $100 \times 10^4 \text{ t/a}$ 催化裂化装置同轴式反应—沉降—再生器，为变径筒体，直径为 5.2~8.4m，高度为 53.48m，质量为 400t，就位标高 7m（1987 年）；河南洛阳炼油厂的催化裂化装置再生器，直径为 9.2~12.3m，高度为 34.39m，质

量为 606t (1980 年); 镇海炼化公司 $80 \times 10^4 \text{t/a}$ 加氢裂化装置的加氢反应器, 直径为 3.636m, 高度为 34.4m, 质量为 560t (1991 年)。在进入 21 世纪后, 质量超过千吨的反应器不断涌现, 如大连石化分公司 $400 \times 10^4 \text{t/a}$ 加氢裂化装置的加氢裂化反应器, 直径为 4.4m, 高度为 45m, 质量为 1295t (2006 年); 新疆独山子 $200 \times 10^4 \text{t/a}$ 蜡油加氢裂化装置的加氢裂化反应器, 直径为 4.0m, 高度为 46.54m, 质量为 1130t (2007 年); 中海油惠州炼油项目 $400 \times 10^4 \text{t/a}$ 高压加氢裂化装置的加氢裂化反应器, 直径为 4.875m, 高度为 48.955m, 质量为 1380t (2008 年); 广西钦州石化炼油项目 $220 \times 10^4 \text{t/a}$ 蜡油加氢裂化装置的加氢裂化反应器, 直径为 4.8m, 高度为 46.337m, 质量为 1526t (2008 年); 神华内蒙古鄂尔多斯煤制油项目的煤液化反应器, 直径为 5.5m, 高度为 57.8m, 质量为 2250t (2006 年), 这也是至今为止国内质量最重的石油化工设备。

三、高柔结构

对于以火炬、排气筒及大型钢结构框架等为代表的高柔结构吊装, 也是属于大型设备吊装的内容。这些构件外形以直立为主, 其显著特点是较重且高大、结构复杂、细长比大, 而且稳定性差, 所以在整体吊装上有一定的难度。近年来, 随着国内重型吊车不断增多和普及, 逐渐采用以分段组框、分段吊装来替代整体吊装此类高柔结构, 有效降低了吊装的难度和风险。

第二节 大型设备吊装技术的发展历程

在炼油、石油化工项目的建设过程中, 属于大型设备的少则十几台, 多则几十台; 而这些设备吊装方面的关键技术是炼油、石油化工建设施工技术研究的重要课题, 从侧面也可以反映出一个国家的施工技术水平。经过几十年的努力与实践, 在我国的炼油、石油化工建设工程中, 从开始利用简单机械吊装 20~50t 的设备, 发展到目前可以吊装数千吨重的设备。

从开始起步到 20 世纪 90 年代中期, 根据我国的机械化水平和国情, 桅杆成为大型吊装的主要工具。桅杆吊装是具有中国特色的吊装技术, 积累了丰富的施工经验, 对于大型直立设备采用滑移提升法, 对于高柔结构则采用