



Q I Z H O N G J I S H U

高等学校教材



# 起重技术

编著 崔碧海 主审 王清训

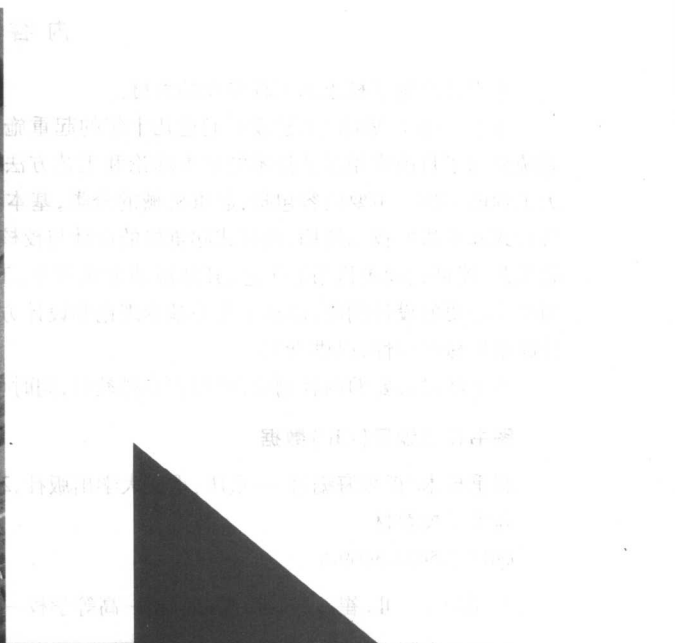
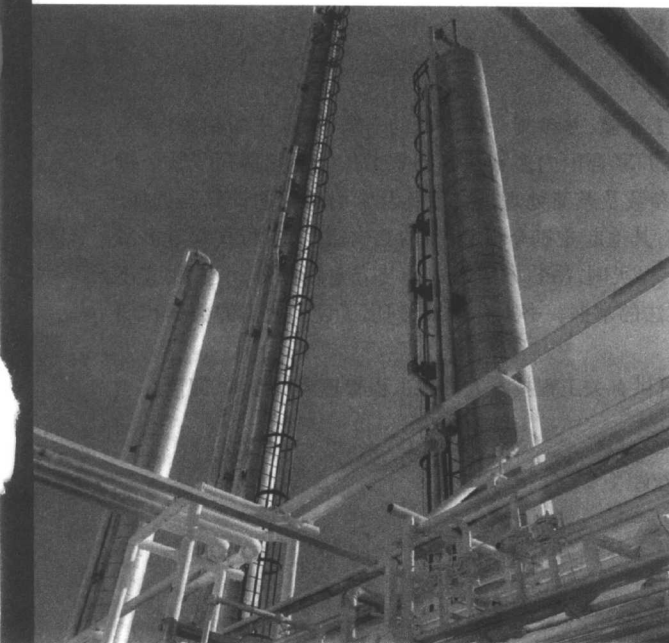


重庆大学出版社



Q I Z H O N G J I S H U

高等学校教材



# 起重技术

编著 崔碧海 主审 王清训

参编 (以姓氏笔画为序)

邓晓岚 刘广根 张广志

但长丰 罗 宾 赵长荣

郭庆元 秦海强 黄伟江



重 庆 大 学 出 版 社

## 内 容 提 要

本书是高等学校土木工程专业的教材。

本书总结了我国广大建设者们近几十年的起重施工经验,并参阅了各方面的书籍、文献中的相关内容,系统介绍了目前常用吊装技术的基本理论和工艺方法,并联合国内多年从事起重工作的专家撰写了数个重大工程的实例。主要内容包括:起重机械的分类,基本参数及载荷处理,索、吊具及牵引装置的计算与选择,自行式起重机的技术使用,桅杆式起重机的设计与校核,其他起重机介绍,设备的二次搬运,自行式起重机吊装工艺,桅杆式起重机吊装工艺,其他吊装方法简介,工程实例,吊装方法的选择与方案编制等。各章、节还列举了必要的设计例题,以利于有关基本理论和设计方法的掌握。书末有附录,列出了设计所需的数据和部分起重机械的特性,以供查用。

本书经过必要的内容删减,可用作专科教材,同时可供有关工程技术人员和工程管理人员参考、阅读。

### 图书在版编目(CIP)数据

起重技术/崔碧海编著. —重庆:重庆大学出版社,2006.3

高等学校教材

ISBN 7-5624-3609-6

I. 起... II. 崔... III. 起重机械—高等学校—教材 IV. TH21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 010583 号

### 高等学校教材

### 起 重 技 术

编 著 崔碧海

主 审 王清川

责任编辑:李长惠 郝延威 版式设计:王 勇 郝延威

责任校对:邹 冠 责任印制:秦 梅

\*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街174号重庆大学(A区)内

邮编:400030

电话:(023)65102378 65105781

传真:(023)65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(市场营销部)

全国新华书店经销

重庆升光电力印务有限公司印刷

\*

开本:787×1092 1/16 印张:15.75 字数:390千

2006年3月第1版 2006年3月第1次印刷

印数:1—3 000

ISBN 7-5624-3609-6 定价:24.00元

---

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

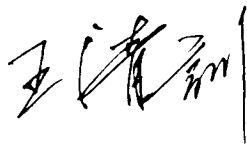
制作各类出版物及配套用书,违者必究

# 序

“起重技术”是土木工程建设,包括建筑结构、设备安装和桥梁施工中的重要施工技术,也是国家建设部推广的十项新技术之一。改革开放 20 多年来,随着经济建设的高速发展,我国的现代起重技术也取得了长足的进步,广大起重工作者因地制宜地发明、创造和完善了一大批优秀的吊装方法,逐渐形成了具有中国特色的吊装施工工艺和操作方法,为国家的经济建设做出了应有的贡献。

重型设备和大型结构常有重、高、大、精、尖等特点。吊装这类设备和结构,必须根据施工组织设计对进度的要求、设备或结构的几何形状和尺寸、重量、结构特点、环境条件、起重机械的性能以及施工队伍的素质等,选择安全、先进、合理、高效、低耗的吊装工艺方法,编制完善的施工方案,以确保吊装工作能安全、优质、高效、低耗和有序地进行。

目前,一大批有丰富工作经验的老技术人员和技术工人正陆续退休,一批新人正在成长。为培养新人,很有必要全面地总结我国 20 多年来广大起重工作者因地制宜地发明、创造和完善的优秀吊装方法,系统地阐述这些优秀吊装方法的基本理论、计算方法、工艺过程和工艺措施,以及吊装方法选择和吊装施工方案编制的基本步骤、方法和要求。《起重技术》一书就能达到要求。该书同时还收集了多个国内典型工程的吊装实例,内容丰富、图文并茂,不仅可做高校学生的教材,也可供施工技术人员和工程管理人员参考,现推荐给读者,相信可以达到开卷有益的目的。



2005 年 12 月

# 前言

“起重技术”是土木工程建设,包括建筑工程、道路与桥梁工程、设备安装工程等工程施工中直接关系到安全、质量、进度和施工成本的重要施工技术。“大型设备与构件整体吊装技术”是国家建设部推广的十项新技术之一。随着我国经济建设的发展,在各类基础设施建设和产业建设中不断出现各种大型结构,大型设备、高耸设备等,其施工的关键技术之一就是设备与结构的吊装。

重型设备和结构的吊装工艺复杂、技术难度大、安全要求高,耗用的人力、物力和时间直接影响整个工程的安全、质量、进度和成本。因此,采用先进、合理的吊装工艺,正确地选用起重机,有针对性的制订安全技术措施,最大限度地缩短吊装工作的工期和降低工程成本,是工程建设界共同关注的关键问题。

我国起重技术有着悠久的发展历史,如长城、故宫的修建、历代故都钟楼的巨大铸钟和上百吨的雕像等的运输与吊装,都凝聚着我国劳动人民的智慧。但是,我国的现代起重技术起步较晚,仅几十年时间。在短短的几十年时间里,我国的现代起重技术得到了长足的发展。广大建设者们创造了许多优秀的吊装工艺和方法,完成了大量的吊装工程,极大地推动了我国起重技术的发展。

本书总结了我国广大建设者们近几十年的起重施工经验,并参阅了各方面的书籍、文献中的相关内容,系统介绍了目前常用吊装技术的基本理论和工艺方法,并联合国内多年从事起重工作的专家撰写了数个重大工程的实例,以达到为读者开拓思路,指导吊装施工的目的。

本书可供土木工程专业本、专科学生使用,也可供广大土木工程专业技术人员和工程管理人员参考。

本书的编写得到了建设一线广大技术人员的大力支持,中国机械工业第一安装工程公司原总工程师但长丰教授级高级工程师撰写 10.1,中国机械工业第一安装工程公司总工程师罗宾高级工程师撰写 10.2,广东省工业设备安装公司张广志高级工程师撰写 10.3,上海四安金属结构有限公司总工程师秦海强高级工程师撰写 10.4,广东省工业设备安装公司总工程师黄伟江教授级高级工程师、邓晓岚高级工程师撰写 10.5,重庆工业设备安装集团有限公司郭庆

元高级工程师撰写 10.6,上海市安装工程有限公司副总工程师刘广根高级工程师撰写 10.7,重庆大学土木工程学院赵长荣讲师编写 4.3,8.5。本书由中国机械工业建设总公司原总工程师王清训教授级高级工程师主审。

在本书编写过程中,获得了中国机械工业建设总公司总经理、中国安装协会机械设备与起重分会会长王治安教授级高级工程师,中国机械工业建设总公司总工程师、中国安装协会机械设备与起重分会常务副会长关洁教授级高级工程师,中国安装协会机械设备与起重分会秘书长陈锦绣高级工程师等专家的大力支持和热情帮助,并对本书提出了合理化建议。吕明、李清瑞、辛志鹏等同志帮助进行了全书的校对工作,在此表示衷心的感谢。

由于笔者水平所限,书中不足之处,敬请广大读者指正,深表感谢。

笔 者

2005 年 12 月

# 目 录

---

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 0 绪论 .....                  | 1  |
| 0.1 起重技术在土木工程中的作用与地位 .....  | 1  |
| 0.2 起重技术目前在国内外的发展状况 .....   | 3  |
| 0.3 起重工程的特点 .....           | 5  |
| 0.4 学习本课程的目的、要求和方法 .....    | 5  |
| 1 起重机械的分类、基本参数及载荷处理 .....   | 7  |
| 1.1 起重机械的分类及使用特点 .....      | 7  |
| 1.2 起重机械的基本参数 .....         | 9  |
| 1.3 起重机械的载荷处理 .....         | 11 |
| 习题 1 .....                  | 17 |
| 2 索、吊具及牵引装置的计算与选择 .....     | 18 |
| 2.1 钢丝绳及其附件 .....           | 18 |
| 2.2 滑轮组 .....               | 24 |
| 2.3 平衡梁的设计计算 .....          | 30 |
| 2.4 电动卷扬机 .....             | 32 |
| 习题 2 .....                  | 36 |
| 3 自行式起重机的技术使用 .....         | 37 |
| 3.1 自行式起重机的分类、特点及结构形式 ..... | 37 |
| 3.2 自行式起重机的特性曲线 .....       | 40 |
| 3.3 自行式起重机的技术使用 .....       | 44 |
| 3.4 自行式起重机的安全管理 .....       | 56 |
| 习题 3 .....                  | 59 |

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| 4 桅杆式起重机的设计与校核 .....                  | 60  |
| 4.1 桅杆式起重机的基本结构与分类 .....              | 60  |
| 4.2 实腹式桅杆起重机的设计与校核 .....              | 64  |
| 4.3 格构式桅杆起重机的设计简介 .....               | 73  |
| 4.4 稳定系统的设计计算 .....                   | 77  |
| 习题4 .....                             | 84  |
| 5 其他起重机介绍 .....                       | 85  |
| 5.1 塔式起重机 .....                       | 85  |
| 5.2 桥式起重机 .....                       | 94  |
| 5.3 龙门起重机 .....                       | 97  |
| 5.4 万能杆件在起重工程中的应用 .....               | 100 |
| 5.5 自升式龙门桅杆起重机 .....                  | 103 |
| 5.6 缆索式起重机 .....                      | 105 |
| 6 设备的二次搬运 .....                       | 107 |
| 6.1 二次搬运的工艺方法 .....                   | 107 |
| 6.2 二次搬运的工艺计算 .....                   | 109 |
| 习题6 .....                             | 112 |
| 7 自行式起重机吊装工艺 .....                    | 113 |
| 7.1 单台起重机吊装高耸设备或构件 .....              | 113 |
| 7.2 单台起重机吊装体长卧式设备或构件 .....            | 116 |
| 7.3 两台起重机滑移抬吊高耸设备或构件 .....            | 118 |
| 习题7 .....                             | 123 |
| 8 桅杆式起重机吊装工艺 .....                    | 125 |
| 8.1 利用倾斜桅杆或动臂桅杆在高基础上吊装设备或构件吊装工艺 ..... | 125 |
| 8.2 利用直立单桅杆吊装桥式起重机工艺 .....            | 130 |
| 8.3 双桅杆滑移抬吊高耸设备或构件工艺 .....            | 136 |
| 8.4 扳倒法吊装塔架类构件工艺 .....                | 141 |
| 8.5 桅杆的组立、移动和放倒 .....                 | 146 |
| 习题8 .....                             | 148 |
| 9 其他吊装方法简介 .....                      | 151 |
| 9.1 无锚点推吊旋转法吊装大型高耸设备或构件 .....         | 151 |
| 9.2 液压装置顶升旋转法吊装立式设备 .....             | 152 |
| 9.3 超高空斜承索吊装法吊运设备 .....               | 153 |
| 9.4 集群液压千斤顶联合整体吊装大型设备或构件 .....        | 153 |
| 9.5 气顶升吊装法 .....                      | 156 |
| 9.6 扣索悬挂、分段吊装、空中组对吊装法 .....           | 157 |

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| 10 工程实例 .....                        | 159 |
| 10.1 德国某焦化厂输煤廊桥整体拆除吊装 .....          | 159 |
| 10.2 150/75 t×33 m 桥式起重机整体吊装 .....   | 164 |
| 10.3 深圳会议展览中心大跨度、大截面箱梁吊装技术 .....     | 169 |
| 10.4 沪宁高速(江苏段)锡澄运河大桥整体牵引安装施工工艺 ..... | 181 |
| 10.5 大型体育场飘带式屋盖钢结构吊装工艺 .....         | 189 |
| 10.6 某厂尾气排放塔扳倒法吊装技术 .....            | 196 |
| 10.7 东海大桥桥头堡钢结构吊装技术 .....            | 207 |
| 11 吊装方法的选择与方案编制 .....                | 212 |
| 11.1 吊装方法的选择原则及步骤 .....              | 212 |
| 11.2 吊装方案的主要内容及其编制依据 .....           | 213 |
| 附录 .....                             | 215 |
| 附录 1 钢丝绳规格表 .....                    | 215 |
| 附录 2 电动慢速卷扬机技术性能和规格 .....            | 218 |
| 附录 3 自行式起重机特性曲线 .....                | 218 |
| 附录 4 金属管式桅杆截面选择参考表 .....             | 230 |
| 附录 5 轴心受压构件的稳定系数 $\varphi$ .....     | 232 |
| 参考文献 .....                           | 238 |



# 绪 论

---

## 0.1 起重技术在土木工程中的作用与地位

起重技术是土木工程中的重要施工技术之一,尤其在建筑工程、安装工程和桥梁工程中,它往往是影响工程安全、质量、进度和施工成本的关键技术。

### 0.1.1 建筑工程与起重技术

目前,建筑工程正向超高层、大跨度、钢结构方向发展,起重技术是这些结构施工时不可缺少的施工技术。例如国家大剧院的“蛋壳”结构,由148榀弧形梁和中间重700 t的环梁组成,如图0.1所示,如何安全、快捷、经济、有序地吊装中间重700 t的环梁和148榀弧形梁就成为整个工程施工成败的关键。诸如此类结构在我国枚不胜数,其中最典型的还有奥运主场馆“鸟巢”结构、中央电视台新址塔楼结构、上海金茂大厦、广州新白云机场候机楼和机库等。随着国家经济建设的发展,相信此类结构在可以预见的将来会更多。

### 0.1.2 安装工程与起重技术

起重技术是安装工程中的三大关键技术之一,在安装工程中占有特殊的地位。随着我国工业建设和安装工程的“四化”(标准化、工厂化、大型化、集成化),吊装的重量不断上升,难度越来越大,对安全、进度、成本的要求进一步提高。图0.2是某化工厂的反应塔设备吊装,设备自身高约80 m,直径约3 m,吊装重量约3 000 kN(300 t)。随着我国工业建设的高速发展,各类重型设备越来越多,对起重技术的要求也越来越高。

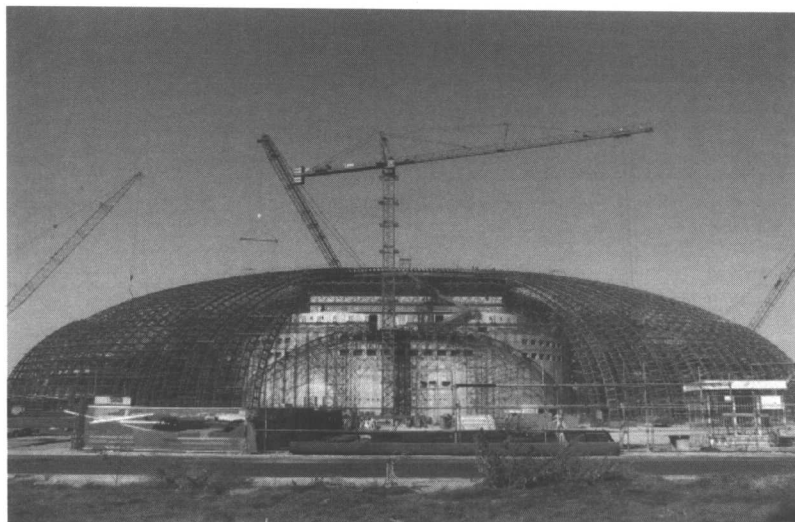


图 0.1 国家大剧院“蛋壳”结构

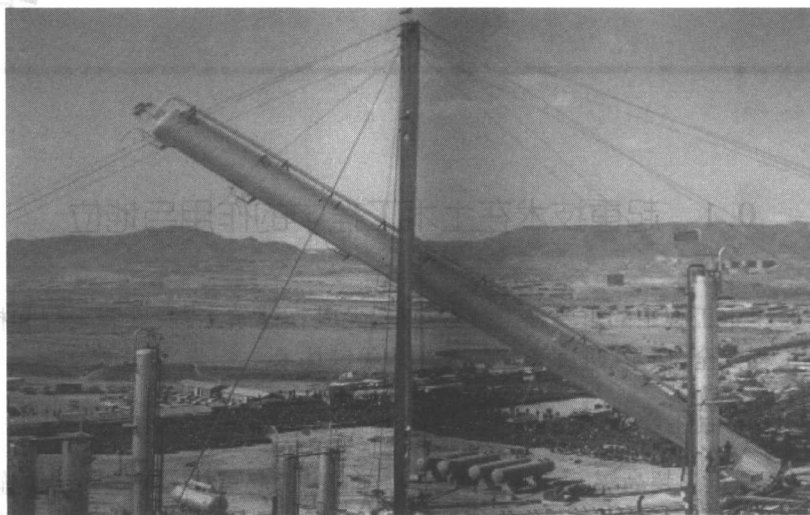


图 0.2 某化工厂反应塔设备吊装

### 0.1.3 桥梁工程与起重技术

起重技术在桥梁工程施工中占有不可或缺的地位,尤其是近年来发展的一些新型结构桥梁,如双肋钢管混凝土拱桥等,不但结构吊装成为施工的关键工序,且其吊装的工作量和难度也都比较高。如图 0.3 所示的是上海卢浦大桥的吊装,由于大桥桥面是用吊杆悬吊在钢管混凝土拱肋上,所以钢管混凝土拱肋的吊装就成为大桥施工的关键工序。

重型结构和设备的吊装工艺复杂,技术难度大,安全要求高,耗用的人力、物力和时间直接影响整个工程的成本和进度。因此,采用先进、合理的吊装工艺,正确地选用起重机,有针对性地制订安全技术措施,最大限度地缩短吊装工作的工期,不仅是工程建设界共同关注的关键问题,也是吊装工作者们一直在不断探索解决的问题。



图 0.3 上海卢浦大桥钢管混凝土拱肋吊装

## 0.2 起重技术目前在国内外的的发展状况

### 0.2.1 目前国外起重技术的发展

现代起重技术在国外发展较快。概括地说,其发展的趋势主要有起重机械大型化、起重工艺方法联合化、控制与操作技术智能化等。

#### 1) 起重机械大型化

为了提高一次吊装的重量,目前国外,尤其是西方发达国家都在大力发展大型起重机。据有关资料显示,目前自行式起重机的额定起重量最大达到 2 000 t,自升式龙门桅杆起重机高度达到 100 m,额定起重量达到 1 000 t。随着起重机设计理论的发展和材料、制造工艺、控制技术等的的发展,将来还会有更大型的起重机问世。

#### 2) 起重工艺方法联合化

起重机械大型化受到起重机设计理论、材料、制造工艺、道路承载能力、使用率、运行和维护成本等一系列因素的限制,不可能无限增大。利用多台较小起重机联合吊装大型设备或结构,是起重技术发展的重要方向。如图 0.4 所示。

利用多台起重机联合吊装大型设备或结构,可以最大限度地降低施工成本,提高工程进度,但吊装工艺复杂,对各起重机之间的相互协调要求较高,仅靠人工指挥协调,很难达到要求。所以目前国际上在发展多台起重机联合吊装的同时,还在大力发展智能化控制、操作技术。

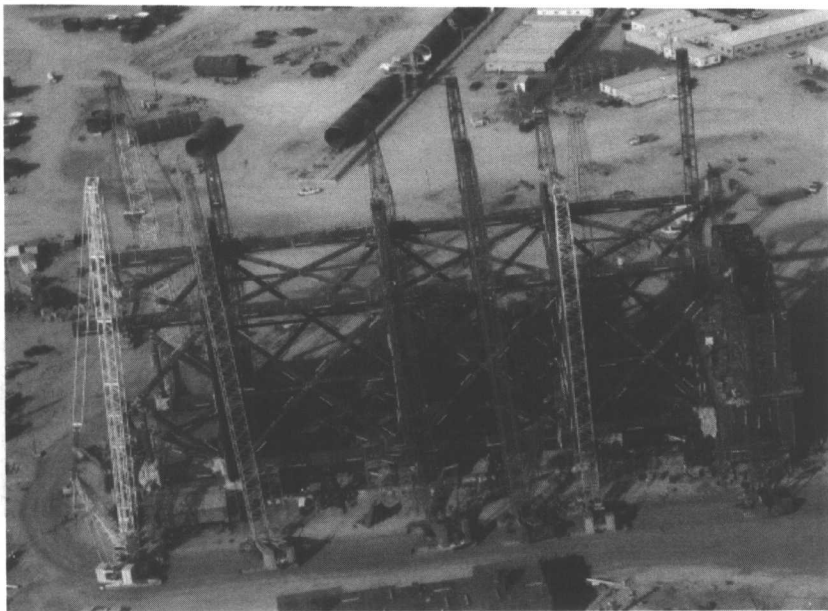


图 0.4 12 台自行式起重机联合吊装一大型结构

### 3) 控制、操作技术智能化

控制、操作技术智能化对起重技术的发展具有重要意义。采用计算机对起重机的受力状态如倾覆力矩、应力与变形等进行监控,可以让起重机操作人员充分掌握起重机的工作状态,进行正确的操作;采用计算机对起重工程的全部工艺过程进行控制、操作,可以准确地协调各起重机相互之间的关系,协调起重机、辅助装置与设备之间的工艺动作,以便整个吊装工艺过程能严格按预先设计的工艺步骤进行,减小失误的机率;对于多吊点的设备或构件,尤其是大型结构,采用计算机对其受力状态、变形等进行监控,可以防止设备、构件、大型结构在吊装过程中因变形而破坏。例如在图 0.4 中,12 台起重机联合整体吊装大型结构,12 台起重机之间的协调,必须依靠计算机进行,否则,吊装中一旦出现各台起重机“不同步”,将会使其中数台起重机的载荷可能达不到设计载荷,而另外的起重机必然严重超载,这样轻则损坏起重机,严重的将导致起重机倾覆,引发重大安全事故。图 0.4 中的大型结构,具有 12 个吊点,吊装中的受力状态与工作时的受力状态截然不同,它在吊装过程中是否会因变形而破坏?采用计算机对其进行监控,可以及早发现事故的苗头,以便采取相应的技术措施。

## 0.2.2 我国起重技术的发展

我国起重技术有着悠久的发展历史,如长城、故宫的修建、历代故都钟楼的巨大铸钟和上百吨的雕像等的运输与吊装,都凝聚着我国劳动人民的智慧。但是,我国的现代起重技术起步较晚,仅几十年时间。在短短的几十年时间里,由于广大科技工作者和工程技术人员努力,使我国的现代起重技术得到了长足的发展。在起重机方面,20 世纪 70 年代我国普遍采用独脚式桅杆、卷扬机和几 t、十几 t 的小型自行式起重机,今天已拥有目前亚洲最大的 1 250 t 的自行式起重机,如图 0.5 所示,1 000 t 的自升式龙门桅杆起重机,2 000 t 的大型浮式起重机以及

其他一系列的起重机械。在吊装工艺和方法方面,广大建设者们创造了许多优秀的整体吊装工艺方法,完成了大量的吊装工程。控制、操作技术智能化也开始在我国应用,如采用多台连续液压千斤顶联合吊装大型结构时,多台连续液压千斤顶之间的协调,就采用了计算机控制技术。

我国起重工作者们几十年来,因地制宜地创造、完善的吊装方法种类很多,对于整体设备或结构吊装方法可以概括地归纳为:对称吊装法、滑移法、旋转法、气(液)压顶升法、超高空斜拉索吊运法、多台起重机联合吊装、平移法等几大类。本书将在后面的章节中分别加以介绍。

### 0.3 起重工程的特点

起重工程具有如下鲜明的特点:

①风险较大,体现在两个方面:首先是起重施工的精度难以达到计算模型的精度,造成实际吊装与理论计算不完全一致而出现误差;其次是一旦发生事故,轻则造成财产的重大损失,重则危及人员的生命安全。因此“安全”是首要点。在确定方案时,须从多方面进行安全论证,尤其要对工艺细节进行仔细研究,在安全与其他指标发生冲突时,应以安全为主。

②重型设备或结构一般是一套装置、一幢建筑或一座桥梁的核心或主体,它们的吊装施工,往往处在一个工程的关键线路上,其成败,常常决定整个工程的成败。因此,重型设备或结构的吊装施工受到工程建设各个方面的关注,一般需要施工单位的总工程师签字批准才能进行。

③对同一吊装项目,可采用的方案一般不是惟一的,在选择方案时,除首先保证安全外,对其进度、质量、成本等指标的协调必须综合考虑。

④起重工程工艺复杂,技术难度高,需要的起重机械多,对起重技术人员的依赖程度较高,因此,一个施工单位的吊装水平,在一定程度上反映了该施工单位的实力和施工水平。

⑤对工程管理人员的综合素质和单位管理体制的规范性要求较高,因此能成功地从事重型设备或结构的吊装,在一定程度上也反映了该施工单位的管理水平。



图 0.5 1 250 t 自行式起重机

### 0.4 学习本课程的目的、要求和方法

#### 0.4.1 本课程与其他课程的联系

本课程的理论基础:数学、力学、钢结构、机械学、金属材料学、焊接技术等。

### 0.4.2 学习本课程的目的

起重工程是土木工程施工中的一个重要的工艺过程,也是难度较大、工艺要求较复杂、具有相当危险性的工艺过程。学习本课程的目的即是使学生掌握这一工艺过程的基本理论、基本知识,再通过一定的实践锻炼,而能够根据施工现场的实际情况设计合理的吊装方案,并能够进行特殊起重机的设计与校核。

### 0.4.3 学习本课程的要求

①起重工程是具有相当危险性的工艺过程,要求学生培养严谨的工作作风、实事求是的科学态度,树立安全第一的观念。

②起重工程的工艺过程较复杂,涉及的基础理论和实践经验较多,要求学生首先要学好理论知识,并将各相关知识融会贯通,在此基础上,做到理论联系实际,增强分析和解决问题的能力。

### 0.4.4 学习本课程的方法

起重工程的一个重要特点是根据现场条件、设备或构件的技术要求去设计吊装方案,选择或设计起重机。由于现场条件不同,设备或构件的重量、几何尺寸、安装位置、力学特性、技术要求等均可能不同,所采取的吊装工艺亦不相同,因此要求学生在学本课程时做到:

①学好理论基础知识,特别是力学知识。

②对所学的基本工艺过程中的每一个细节认真分析,增强自己的分析能力。

③尽可能多地学习别人的方案,分析其优缺点,以便借鉴。

④尽可能多地参观实际吊装工程,增加自己的实感。

# 1

## 起重机械的分类、基本参数及载荷处理

### 1.1 起重机械的分类及使用特点

#### 1.1.1 起重机械的分类

目前工程中常将起重机械分为轻小起重机械和起重机两大类,见图 1.1。

#### 1.1.2 土木工程常用起重机的使用特点

土木工程中常用起重机械主要有轻小起重机械和塔式起重机、桥式起重机、门式起重机、自行式起重机、浮式起重机、缆索式起重机、桅杆式起重机等,它们各有其独特的使用特点。在选择起重机时应充分考虑其特点,才能使其发挥最大效能。

##### 1) 塔式起重机

该类起重机又分压杆式和水平臂架加小车式。其主要特点有:

- ①使用前需安装,使用后需拆除,不适合单件物体的吊装。
- ②起重机位置固定或仅能在一定范围(轨道铺设范围)内移动。
- ③起升高度高,如加上附着杆,则更高。
- ④幅度利用率高,可吊装体积较大的物体。
- ⑤起重量小,一般只有几 t。

鉴于上述特点,塔式起重机主要适宜于某一固定范围内,数量多但重量小的场合,如一般

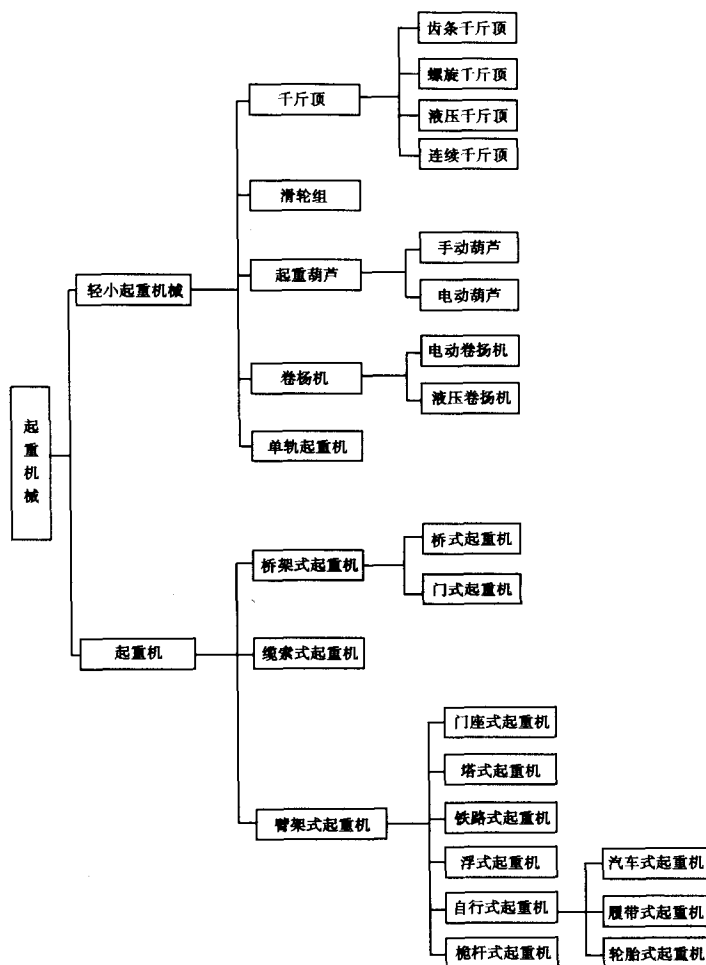


图 1.1 起重机械的分类

建筑工地。在安装工程中,主要用于锅炉、管道等的组装。

## 2) 桥式起重机

该类起重机安装在车间内,起升高度和跨度固定,起重量不随起升高度和跨度变化,适合车间内的设备、构件的吊装。

## 3) 门式起重机

该类起重机一般安装在露天场地,起升高度和跨度固定,起重量不随起升高度和跨度变化,适合于施工材料堆放场地、设备及构件保管场地、设备及构件组装场地等的吊装工作。

## 4) 自行式起重机

该类起重机可以自己行走,尤其是其中的汽车式起重机,不需辅助设施便可长途转移,使用前不需安装,使用后不需拆除,使用极为方便,效率高,所以使用范围极广,是现代起重机的