

建筑与市政工程施工现场专业人员继续教育教材

适用范围

施工员 质量员

# 大跨度钢结构施工 新技术

中国建设教育协会继续教育委员会 组织编写

中国建筑工业出版社



建筑与市政工程施工现场专业人员继续教育教材

# 大跨度钢结构施工新技术

中国建设教育协会继续教育委员会 组织编写

徐 辉 主编

武佩牛 主审

中国建筑工业出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

大跨度钢结构施工新技术/中国建设教育协会继续教育委员会组织编写. —北京: 中国建筑工业出版社, 2015. 10  
建筑与市政工程施工现场专业人员继续教育教材  
ISBN 978-7-112-18549-8

I. ①大… II. ①中… III. ①大跨度结构-钢结构-建筑物-工程施工-技术培训-教材 IV. ①TU745.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 242479 号

本书结合工程实例系统阐述了大跨度钢结构施工技术, 包括概述、旋转吊装技术、整体平移安装技术、整体提升安装技术和旋转平移安装技术。各章均附有思考题。

本书可作为建筑与市政工程施工现场专业人员继续教育教材, 也可供相关的专业技术人员参考。

责任编辑: 朱首明 李明 李阳 赵云波

责任设计: 李志立

责任校对: 李美娜 姜小莲

## 建筑与市政工程施工现场专业人员继续教育教材 大跨度钢结构施工新技术

中国建设教育协会继续教育委员会 组织编写

徐辉 主编 武佩牛 主审

\*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 5½ 字数: 131 千字

2015 年 10 月第一版 2015 年 10 月第一次印刷

定价: 15.00 元

ISBN 978-7-112-18549-8

(27813)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

# 建筑与市政工程施工现场专业 人员继续教育教材 编审委员会

主任：沈元勤

副主任：艾伟杰 李明

委员：（按姓氏笔画为序）

于燕驰	王昭	邓铭庭	白俊	台双良	朱首明
刘冰	刘仁辉	刘传卿	刘善安	孙延荣	李阳
李波	李庚尧	李晓文	李雪飞	李慧平	肖兴华
宋志刚	张囡囡	陈春来	周显峰	赵泽红	俞宝达
姚莉萍	袁蘋	徐辉	高原	梅晓丽	曾庆江
虞和定	阚咏梅	颜龄			

**参编单位：**

中建一局培训中心

北京建工培训中心

山东省建筑科学研究院

哈尔滨工业大学

河北工业大学

河北建筑工程学院

上海建峰职业技术学院

杭州建工集团有限责任公司

浙江赐泽标准技术咨询有限公司

浙江铭轩建筑工程有限公司

华恒建设集团有限公司

# 序

建筑与市政工程施工现场专业人员队伍素质是影响工程质量、安全、进度的关键因素。我国从20世纪80年代开始,在建设行业开展关键岗位培训考核和持证上岗工作,对于提高建设行业从业人员的素质起到了积极的作用。进入21世纪,在改革行政审批制度和转变政府职能的背景下,建设行业教育主管部门转变行业人才工作思路,积极规划和组织职业标准的研发。在住房和城乡建设部人事司的主持下,由中国建设教育协会主编了建设行业的第一部职业标准——《建筑与市政工程施工现场专业人员职业标准》JGJ/T 250—2011,于2012年1月1日起实施。为推动该标准的贯彻落实,中国建设教育协会组织有关专家编写了考核评价大纲、标准培训教材和配套习题集。

随着时代的发展,建筑技术日新月异,为了让从业人员跟上时代的发展要求,使他们的从业有后继动力,就要在行业内建立终身学习制度。为此,为了满足建设行业现场专业人员继续教育培训工作的需要,继续教育委员会组织业内专家,按照《标准》中对从业人员能力的要求,结合行业发展的需求,编写了《建筑与市政工程施工现场专业人员继续教育培训教材》。

本套教材作者均为长期从事技术工作和培训工作的业内专家,主要内容都经过反复筛选,特别注意满足企业用人需求,加强专业人员岗位实操能力。编写时均以企业岗位实际需求为出发点,按照简洁、实用的原则,精选热点专题,突出能力提升,能在有限的学时内满足现场专业人员继续教育培训的需求。我们还邀请专家为通用教材录制了视频课程,以方便大家学习。

由于时间仓促,教材编写过程中难免存在不足,我们恳请使用本套教材的培训机构、教师和广大学员多提宝贵意见,以便我们今后进一步修订,使其不断完善。

中国建设教育协会继续教育委员会  
2015年12月

# 前 言

我国大跨度钢结构自 20 世纪五六十年代开始建造并不断发展,尤其是 20 世纪八十年代以来,随着我国社会和国民经济快速发展,大跨度钢结构由于其独特的应用结构形式而逐渐趋向多样化,被广泛应用于大型公共建筑(如剧院、展览馆、体育场馆、车站等)、专门用途的建筑(如飞机库、汽车库)及生产性建筑(如飞机制造厂装配车间、造船厂等),以满足大空间使用功能的需要,从而促进大跨度钢结构的设计及建造技术得到突飞猛进的发展。

本书以超大工程施工实例为主线,以施工方法为重点,着重介绍大跨度钢结构施工工艺。旨在开拓学生视野,了解现代超级建筑施工的发展方向,熟悉超级建筑施工的关键技术。是在掌握建筑施工技术及相关基础课的基础上,进行更高层次学习的教材。

本书首先介绍了几种大跨度钢结构的形势,然后从工艺原理及特点、施工设备、关键技术等方面,并结合工程案例,阐述了旋转吊装、整体平移安装、整体提升安装和旋转平移安装等大跨度钢结构安装施工新技术。

为使读者能够系统地对大跨度钢结构安装有一个更深层次的认识,希望读者能够结合本篇的经典案例熟练掌握每一种大跨度钢结构安装的工艺原理及特点,了解施工设备及关键技术,从而指导实际工程中大跨度钢结构安装施工。

本书由上海建峰职业技术学院徐辉主编,杨秀方、阳吉宝为副主编;参与编写人员还有:梁治国、夏凉风、张松、孙海忠、冯明伟、段存俊。

本书由武佩牛担任主审。

在本书编写过程中,得到了上海建工(集团)股份有限公司及其相关公司的大力支持,同时也得到上海市建工设计研究院有限公司的田全红、赵家毅、林圣杰、张会新、谷远朋、董林兵同志的大力支持,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,加之时间仓促,不妥或错误之处在所难免,敬请广大读者指正。

# 目 录

第 1 章 概述	1
1.1 大跨度建筑的结构形式	1
1.1.1 平面杆系结构	1
1.1.2 空间杆系结构	2
1.1.3 悬索结构	4
1.1.4 膜结构	5
1.2 施工安装	5
第 2 章 旋转吊装技术	7
2.1 工艺原理及特点	7
2.1.1 工艺原理	7
2.1.2 工艺特点	7
2.2 施工设备	8
2.2.1 旋转式门式起重机	8
2.2.2 旋转式缆索起重机	8
2.3 关键技术	9
2.3.1 旋转式起重机的设计、制造	9
2.3.2 旋转式起重机的安装与拆除	9
2.3.3 圆形结构吊装	10
2.4 工程案例	10
2.4.1 工程概况	10
2.4.2 施工工艺	10
2.4.3 关键技术	15
2.4.4 实施效果	17
第 3 章 整体平移安装技术	19
3.1 概述	19
3.2 工艺原理及特点	20
3.2.1 工艺原理	20
3.2.2 工艺特点	22
3.3 施工设备	22
3.3.1 液压动力系统	22
3.3.2 电气控制系统	24
3.3.3 计算机控制系统	24
3.3.4 滑道及滑靴（滑块）系统	25



3.4 关键技术	26
3.4.1 平移单元划分	26
3.4.2 整体平移计算分析	26
3.4.3 整体平移姿态控制	27
3.4.4 整体平移施工监测	27
3.5 工程案例	28
3.5.1 工程概况	28
3.5.2 施工工艺	29
3.5.3 系统设计	33
3.5.4 关键技术	35
3.5.5 实施效果	36
<b>第4章 整体提升安装技术</b>	<b>38</b>
4.1 概述	38
4.2 工艺原理及特点	41
4.2.1 工艺原理	41
4.2.2 工艺特点	41
4.3 施工设备	43
4.3.1 液压提升系统	43
4.3.2 支承系统	43
4.3.3 控制系统	44
4.4 关键技术	45
4.4.1 整体提升计算及支承系统设计	45
4.4.2 计算机控制液压提升系统的设计	46
4.4.3 整体提升实施	46
4.5 工程案例	47
4.5.1 工程概况	47
4.5.2 施工工艺	47
4.5.3 系统设计	55
4.5.4 关键技术	56
4.5.5 实施效果	59
<b>第5章 旋转平移安装技术</b>	<b>60</b>
5.1 概述	60
5.2 工艺原理及特点	63
5.2.1 工艺原理	63
5.2.2 工艺特点	64
5.3 施工设备	65
5.3.1 滑道系统	65
5.3.2 导向系统	65
5.3.3 顶推平移系统	65

---

5.4 关键技术	66
5.4.1 结构单元划分	66
5.4.2 旋转顶推平移	67
5.4.3 合拢段设置	67
5.5 工程案例	67
5.5.1 工程概况	67
5.5.2 施工工艺	68
5.5.3 系统设计	73
5.5.4 关键技术	74
5.5.5 实施效果	74

# 第 1 章 概 述

远古时代，人类或挖洞穴居或构木为巢，仅仅是为了争取一个生存的空间。要想有一个较大的庇护场所进行公共活动，只能是个奢望。人们要营造大的空间，取决于两个条件：一是有足够强度的材料，二是有运用这样材料来建造的技术。只有具备了这两个条件，才能以一定跨度的屋盖来覆盖所需的空间。

大跨度建筑在古代罗马已经出现，如公元 120~124 年建成的罗马万神庙，呈圆形平面，穹顶直径达 43.3m，用天然混凝土浇筑而成，是罗马穹顶技术的光辉典范。随着人们需求的日益增长以及建筑技术的不断进步，大跨度建筑层出不穷，建筑形态越来越多样，建筑跨度越来越大，内部建筑功能越来越复杂。特别是近几十年来新品种的钢材和水泥在强度方面有了很大的提高，各种轻质高强材料、新型化学材料、高性能防水材料、高性能绝热材料的出现，为建造各种新型的大跨度结构和各种造型新颖的大跨度建筑创造了更有利的物质技术条件。上海铁路南站站屋结构采用圆形的钢屋盖结构体系，其屋面直径达到了 278m，为典型的超大尺度空间钢结构（图 1-1）；中国科学院国家天文台 500m 口径球面射电望远镜（FAST）也是一个典型的圆形建筑，仅球面反射面系统的直径就达到 500m，尚不包括外围环形的圈梁宽度，是目前世界上最大的单口径望远镜（图 1-2）。



图 1-1 上海铁路南站

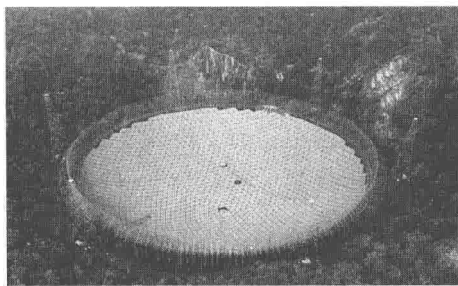


图 1-2 500m 口径球面射电望远镜（FAST）

建筑跨度的大小，恐怕很难予以定量，这是和时代相关联的。在古代被认为是大跨度的结构，到现代恐怕就不能称之为“大”了。即使到了现代，对大跨度也没有统一的衡量标准。因此在本书中所论述的“大跨度建筑”是指跨度在 60m 以上的建筑。

## 1.1 大跨度建筑的结构形式

### 1.1.1 平面杆系结构

#### (1) 桁架

在大跨度建筑结构中，作为受弯的梁式体系，桁架是一种常见的结构体系。桁架的设

计、制作与安装都比较简单,构成桁架的上弦、下弦、横杆与竖杆只承受拉力或压力,它对支座不会产生推力。

常用的形式有:三角形、矩形、梯形与拱形等。三角形屋架在大跨度建筑中很少用,

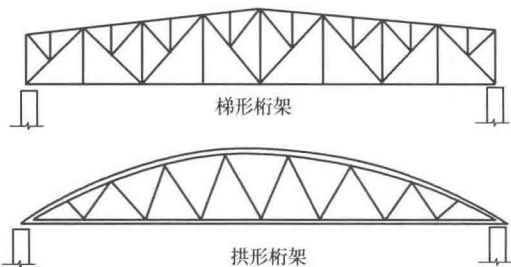


图 1-3 常用桁架形式

因为跨中的高度要做得很高。平行弦的矩形屋架也因为不利于屋面排水而很少采用,最常用的是如图 1-3 所示的梯形与拱形桁架。

### (2) 拱

拱在大跨度建筑中经常采用,特别是当建筑物要求墙体与屋顶连成一体时,落地拱尤为适用。拱在竖向均布荷载作用下,基本上处于受压状态,适合于以钢筋混凝土之类的材料制成。但在大跨度时,往往做成格构式钢拱。

大多数情况下,拱的轴线采用抛物线,其他如圆弧线、椭圆线、悬链线也可采用。按结构组成和支撑方式,拱可分为三铰拱、两铰拱和无铰拱三类。三铰拱是静定结构,计算分析简单,当基础有不均匀沉降时,不会引起附加内力。但由于跨中存在着铰,使得拱和屋盖结构的构造都比较复杂,刚度也是三者中较差的。无铰拱的跨中弯矩分布最为有利,但温度应力较大,同时还需要较强的支座。大跨度屋盖中用得较多的是两铰拱,它的优点是安装简单,用料经济,在温度变化时,由于铰可以转动,温度应力也较低,但如有基础不均匀沉降,则应考虑其对结构内力的影响。

(3) 门式刚架

### (3) 门式刚架

大跨度的门式刚架大多采用钢结构。当跨度达 50~60m 时,可以做成实腹式,跨度更大时,就应做成格构式。如同拱一样,门式刚架也分为三铰、两铰和无铰三类,其优缺点和拱相同。我国在辽河、沧州等地的化肥厂散装仓库中曾用过跨度为 54.5m 的三位实腹式刚架。岳阳化肥厂散装仓库,跨度为 55m,则采用两铰格构门式刚架,耗钢量比三铰实腹刚架略省一些。北京体育馆的比赛馆采用了三铰格构式刚架,跨度为 56m。

## 1.1.2 空间杆系结构

### (1) 网架结构

网架结构是由许多杆件按照一定规律布置,通过节点连接而成的网格状结构体系。它具有空间受力的性能,是高次超静定的空间结构,由于具有像平板的外形,因此也称为平板型网架。

网架结构由处在两个平面内的杆件组成,形成平行的上弦与下弦,其间以横杆与竖杆相连。网架的受力特点是杆件均为铰接,不能承受弯矩或扭矩,因此所有杆件只受拉或受压。网架结构的整体性能好,能有效地承受非对称荷载、集中荷载和各种动力荷载。由于在工厂成批生产,网架制作完成后运到现场拼装,从而使网架的施工做到进度快、精度高、便于保证质量。网架结构的平面布置灵活,不论是方形、矩形、圆形、多边形,甚至不规则的建筑平面都可以采用,网架结构适用于大跨度建筑的屋盖,在我国和世界其他各国都得到迅猛的发展,是空间结构中采用量最多的一种。

### (2) 立体桁架

立体桁架是由平面桁架演变而来，常用的做法是把单根的上弦或下弦分成两根，使桁架的横截面成为倒三角形或正三角形（图 1-4）。这种结构的最大优点是：桁架本身是立体的，平面外刚度大，自成一稳定体系，有利于吊装，因而可以简化甚至取消平面桁架需要设置的支撑。

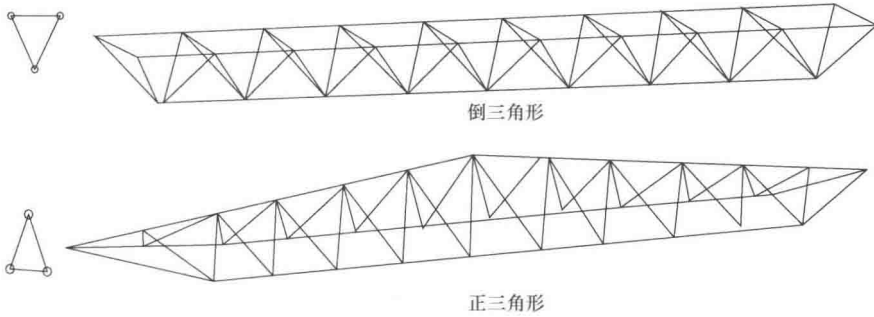


图 1-4 立体桁架

由于立体桁架节省了支撑，比一般的平面桁架可节省 1/3 钢材。它也相当于整个节间都抽空的四角锥网架，耗钢量甚至比网架都低，加之构造简单，可以单独吊装，在我国应用相当广泛。

### (3) 网壳结构

在空间结构发展的初期，曲线形的结构往往以钢筋混凝土做成曲面状的薄壳结构，壳体结构被认为仅是以连续的曲面所形成的空间薄壁体系。钢筋混凝土薄壳具有良好的受力性能，它既能承重，又起围护作用，使两种功能融合为一体，从而更节省材料，在防火与便于维护方面也有优点。

随着新材料应用的发展，人们发现用离散金属杆件做成曲线形同样能形成相同曲率的壳体结构，而在很大程度上可以避免钢筋混凝土薄壳的弱点，网壳结构便应运而生。凡是壳体结构的各种曲面，都可以用杆件组成。因此网壳结构既具有网架结构的一系列优点，又能提供各种优美的造型，近年来几乎取代了钢筋混凝土薄壳结构。网壳的杆件、节点构造与安装方法都可借鉴网架结构的经验。两者相比，网壳的设计、构造与施工都要比网架复杂一些，钢材消耗量虽然少一些，但总的造价还是大体相等，它主要以外形多样见长。

网壳结构的常见形式有圆柱面网壳、球面网壳、椭圆抛物面网壳（又称双曲扁壳）、双曲抛物面网壳（又称鞍形网壳、扭网壳）等四种，如图 1-5~图 1-8 所示。

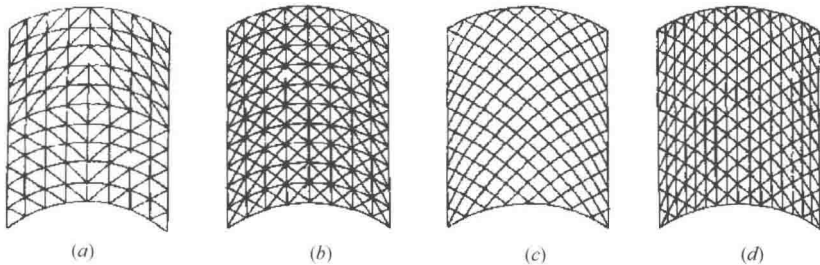


图 1-5 圆柱面网壳的网格

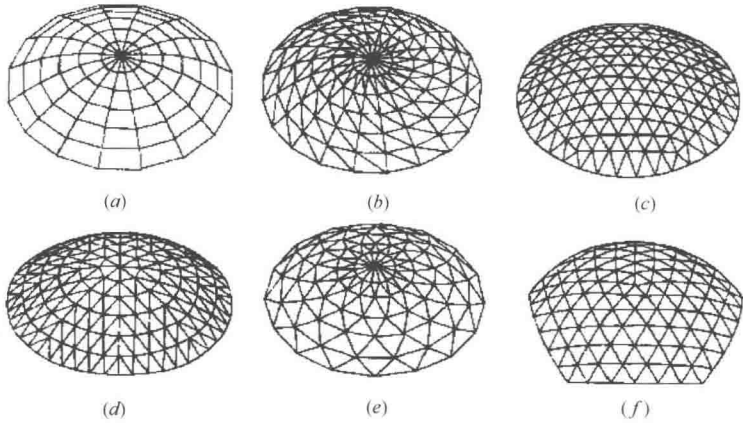


图 1-6 球面网壳的网格

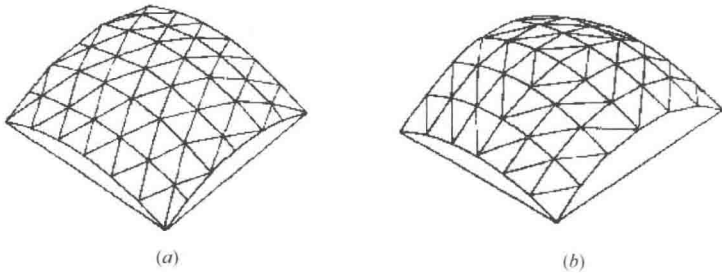


图 1-7 椭圆抛物面网壳的网格

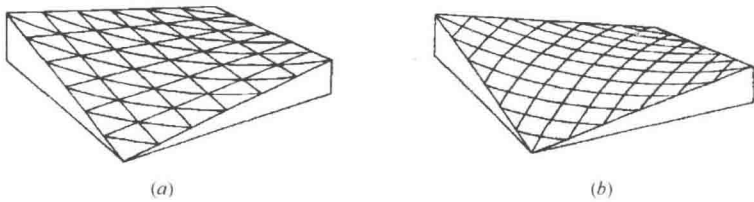


图 1-8 双曲抛物面网壳的网格

### 1.1.3 悬索结构

悬索结构是以受拉钢索为主要承重构件的结构体系。这些索按一定的规律组成各种不同的形式，钢索一般采用高强度的钢丝束、钢绞线或钢丝绳。悬索结构最突出的优点是所用的钢索只承受拉力，因而能充分发挥高强度钢材的优越性，这样就可以减轻屋盖的自重，使悬索结构的跨度增大。此外，悬索结构还适用于多种多样的平面与立体图形，能充分满足建筑造型的需要。

由于钢索的抗弯刚度很小，悬索结构的变形要比其他类型的空间结构大一些。这对于集中荷载、不均匀分布荷载以及诸如风、地震等动力荷载都比较敏感。在设计时应采取措施，使屋盖具有一定的抗弯刚度。悬索结构都设有边缘构件，并支承在下部结构上，拉索

支点的细微变化都会引起拉索内力的变化。支承结构除了承受竖向力外,还有拉索传来的横向力,因此要求它具有较强的侧向刚度。一般说来,拉索本身的用钢量很小,而边缘构件与支承结构却要耗费较多的材料。

#### 1.1.4 膜结构

膜结构是空间结构中最新发展起来的一种类型,它以性能优良的织物为材料,或是向膜内充气,由空气压力支撑膜面,或是利用柔性钢索或刚性骨架将膜面绷紧,从而形成具有一定刚度并能覆盖大跨度结构体系。膜结构既能承重又能起围护作用,与传统结构相比,其重量却大大减轻,仅为一般屋盖重量的 $1/10\sim 1/30$ 。

早在远古时代,人们利用兽皮建造的帐篷可看作是最原始的膜结构。后来在一些临时性的建筑中,如四合帐篷、马戏大棚、仓库等也曾采用像帆布一类的材料建造膜结构。然而,现代的新型膜结构却与此有着本质的差别,首先是材料不同,它是专门为覆盖建筑物而开发的“建筑织物”,虽然厚度很薄,但却具有相当高的强度与耐久性,而且还有满足建筑使用功能的一系列优点;其次是受力情况不同,当今膜结构的膜材在施工完毕后或承受外荷载时都是张紧的,要承受一定的拉力,在这方面,膜与悬索一样都是以受拉为主的结构,因此也统称为“张拉结构”。

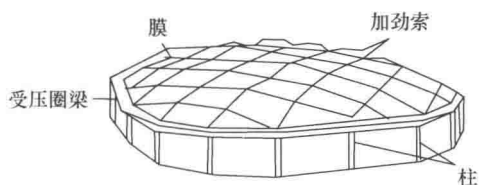


图 1-9 空气膜结构

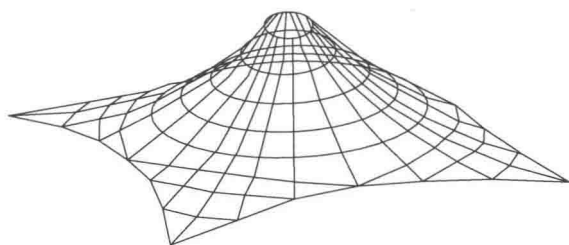


图 1-10 悬挂膜结构

## 1.2 施工安装

大跨度建筑结构的选型在设计方案阶段就应该和施工安装方法紧密地结合起来。对于平面结构来说,由于构件上有主次之分,只要将构件逐步顺序安装,相对来说问题比较简单。对于悬索与膜结构来说,其主要问题是钢索的架设,其他的构件都比较轻,可以利用已架设的钢索进行吊装。空间结构的施工安装基本上分为两大类,即高空拼装和地面拼装后起吊。前一类方法的主要问题是如何在高空进行有效的施工,而后一类方法是应该采用什么样的机具与工艺的问题。如何把一个空间结构架设到设计位置上就成为空间结构施工的关键问题,对于大跨度建筑更是困难,尤其当其下部建筑结构或基础情况复杂时,对超大尺寸的钢结构安装带来了极大的挑战,但也因此涌现了一系列先进的施工技术和宝贵的经验。本书将对大跨度的钢结构施工安装技术进行介绍,共包括旋转吊装技术、整体平移安装技术、整体提升安装技术和旋转平移安装技术等四个部分,将结合具体的工程实例详细介绍施工技术的工艺原理和特点及其施工关键技术。

### 思考题

1. 大跨度建筑结构的定义是什么?
2. 大跨度建筑的结构形式包括哪些?
3. 平面杆系结构和空间杆系结构分别有哪些形式?



## 第 2 章 旋转吊装技术

旋转吊装技术是指利用旋转式作业的起重设备进行钢结构吊装的一种施工方法。与常规的钢结构吊装方法相比，其主要不同之处在于旋转吊装的起重设备是骑跨在需要吊装的结构上方，通过起重设备的旋转作业，形成覆盖整个待建结构的作业面。该吊装技术的开发解决了超大尺寸圆形或者类圆形钢结构的安装难题。上海铁路南站超大直径圆形钢屋盖结构就是采用旋转吊装技术完成安装的。

### 2.1 工艺原理及特点

#### 2.1.1 工艺原理

旋转吊装技术是指利用旋转式作业的起重设备进行钢结构吊装的一种施工方法，其工艺原理如下：

先在建筑内部安装一台具有旋转作业的起重设备。旋转式起重设备由位于中心、带旋转机构的固定端、外围可沿环形轨道旋转开行的移动端以及联系中心固定端和外围移动端的起重横梁（索）组成。旋转式起重设备工作时，通过设置在外围移动端上的行走机构沿环形轨道开行，带动起重横梁（索）绕中心固定端旋转，类似“圆规”的工作原理，使整个旋转起重设备覆盖圆形结构范围（图 2-1）。旋转起重设备安装完后，利用该设备吊装其覆盖范围内的圆形钢结构，钢结构安装完后，拆除旋转起重设备，完成施工作业。

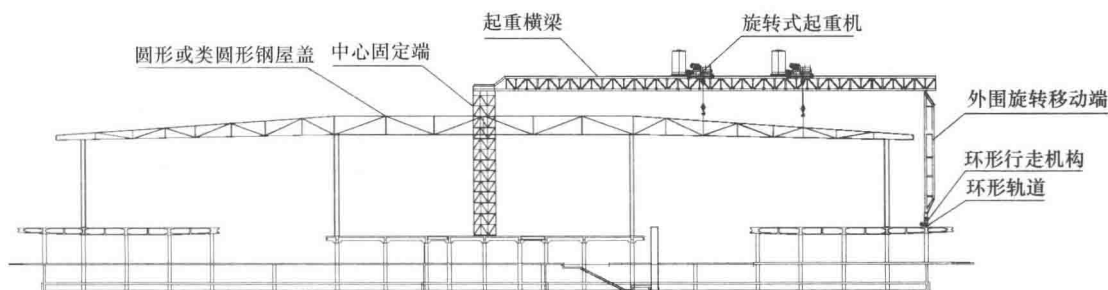


图 2-1 旋转吊装示意图

#### 2.1.2 工艺特点

当圆形或者类圆形钢结构的尺寸超大时，传统的起重机（如履带吊、汽车吊、塔吊等）无法采用跨外吊装<sup>①</sup>的方法进行安装；同时钢结构下部的结构情况复杂，导致传统的起重机亦无法开进跨内而采用跨内吊装<sup>②</sup>的方法进行安装。显而易见，采用本工艺可以解决无法利用传统起重机，采用跨内或跨外进行吊装的超大直径圆形或者类圆形建筑钢结构