

空间结构 设计与施工

肖 焱
李维滨 编 著
马少华

东南大学出版社

空间结构设计与施工

肖 焱 李维滨 马少华 编著

东南大学出版社

内 容 简 介

本书共分四篇二十五章,较全面地阐述空间结构中的薄壳结构、空间网格结构、张拉结构、组合空间结构等四类结构,每种结构均介绍了几何形态、选型设计、内力分析、力学特性、设计构造要点及施工安装问题。内容力求实用,公式推导从简,着重说理,书中附有较多例题,详细列出常用结构的计算步骤,便于初学者掌握。

本书可作为土建类有关专业高年级学生或空间结构研究方向硕士生的教学用书。由于本书编写时紧密结合有关《规程》,工程实例较多,故也很适用于从事土建工程设计和施工的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

空间结构设计/肖焱等编著. —南京:东南大学出版社,1999.12

ISBN 7-81050-569-6

I. 空… II. 肖… III. ①空间结构—结构设计②空间结构—工程施工 IV. TU765

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 55137 号

东南大学出版社出版发行
(南京四牌楼 2 号 邮编 210096)

出版人:宋增民

江苏省新华书店经销 江苏地质测绘院印刷厂印刷
开本:787mm×1092mm 1/16 印张:28.5 字数:700 千字

1999 年 12 月第 1 版 1999 年 12 月第 1 次印刷

印数:1—3000 册 定价:40.00 元

出版说明

书籍是人类进步的阶梯。教材是教师教学成果的结晶,应是书籍中的珍品。一本好的教材,哺育和影响一代乃至几代人。东南大学一贯重视教材建设工作。近一个世纪来,一批一批的优秀教师写出了一批批优秀教材。据不完全统计,数十年以来,东南大学编写出版了近千种教材,并且在从1989年开始的三届全国优秀教材评选中,共有82种教材获奖,获奖数居全国高校前列。这一成果也是使得东南大学成为全国首批本科教学工作优秀学校的一个重要支撑条件。

面对即将到来的21世纪,东南大学将更加重视人才培养,重视本科和研究生教学,重视教材建设。2002年,东南大学将迎来建校100周年的盛大庆典。为了以实际行动迎接这一节日的到来,学校决定,到2002年出版100本高水平教材,并且在政策上给予了大力扶持。经过慎重的讨论和评审,规划工作已经完成,正在逐年落实出版。从今年起,将有一批面向21世纪、体现东南大学教学改革成果的教材陆续面世。我们高兴地看到,中国高等教育的教材园地将更加绚烂多彩。

东南大学教学委员会

一九九八年八月

再 版 序 言

本书再版时仍保留原来写书的宗旨:力求实用、简明;对初版时的较复杂的数学公式进一步简化,例题仍保留,以利学生演练时参照。

本书内容包括薄壳结构、空间网格结构、张拉结构和组合空间结构等四大类结构在线弹性阶段的内力分析、力学特性、设计、构造和施工等问题。因新规程正在印制中,所以对薄壳结构部分修改时采用了部分新符号。由于新的符号脚码太多,本书作了一些简化。我想毕竟是参考书,只要读者方便,似可以变通些。另外,再版时新增了折壳结构和悬索网架结构内容。空间网格结构部分,根据本校教学经验亦作了些调整。

本书适用于从事土建设计和施工技术人员使用。当用于土建类专业高年级学生作选修课教材时,可根据教学需要加以选取;对于空间结构研究方向的硕士生,本书可作为空间结构课程之一(其他如空间结构非线性分析、动力等问题则可在其他空间结构课程完成)。

空间结构发展至今已形成一个相当大的领域,方兴未艾。特别像膜结构和组合空间结构,目前还有很多问题正在研究中,因此本书对这部分内容写得较简单。

本书第二篇由李维滨负责完成,其余部分由肖炽、马少华完成。

限于作者水平,书中有不当之处恳请读者批评指正。

肖 炽

东南大学土木工程学院

1999年5月

目 次

0 绪 论	(1)
0.1 什么叫空间结构?	(1)
0.2 研究和发展空间结构的意义	(1)
0.3 空间结构分类	(2)
0.4 空间结构的特点	(3)

第一篇 薄壳结构

1 总 论	(4)
1.1 概 述	(4)
1.1.1 定义	(4)
1.1.2 特点	(4)
1.1.3 薄壳结构的发展	(5)
1.2 薄壳结构的分类	(5)
1.2.1 按曲面形成方法分类	(5)
1.2.2 按高斯曲率分类	(8)
1.2.3 按所用材料分类	(10)
1.3 薄壳结构内力分析方法的一般概念	(10)
1.3.1 壳体内力	(10)
1.3.2 无弯矩理论	(12)
1.3.3 弯矩理论及边界效应法概念	(12)
2 圆形底旋转面薄壳	(13)
2.1 选型设计	(13)
2.1.1 几何特性	(13)
2.1.2 选型设计	(14)
2.2 旋转面球壳计算理论及方法	(14)
2.2.1 球壳薄膜内力	(14)
2.2.1.1 任意旋转面壳体在轴对称荷载作用下的薄膜内力计算公式	(14)
2.2.1.2 闭口球壳在轴对称荷载作用下的薄膜内力	(14)
2.2.1.3 任意旋转面壳体在非轴对称荷载作用下的薄膜内力	(15)
2.2.1.4 球壳在非轴对称荷载作用下的薄膜内力	(17)
2.2.2 球壳弯曲内力	(19)
2.2.2.1 任意旋转面壳的轴对称位移	(19)

2.2.2.2 任意旋转面壳的轴对称弯曲	(20)
2.2.2.3 球壳的弯曲	(21)
2.2.2.4 简化算法	(22)
2.3 圆形底球壳算例及力学特性	(28)
2.3.1 现浇钢筋混凝土闭口球壳算例	(28)
2.3.2 装配整体式钢筋混凝土开口球壳算例	(35)
2.3.3 球壳力学特性	(39)
2.4 设计要点	(40)
2.4.1 几何尺寸及配筋	(40)
2.4.2 边缘构件	(41)
2.4.3 装配整体式球壳	(42)
2.4.3.1 预制壳板的划分	(42)
2.4.3.2 预制壳板的接缝	(43)
3 双曲扁壳	(45)
3.1 选型设计	(45)
3.1.1 几何特性	(45)
3.1.2 选型设计	(46)
3.2 双曲扁壳计算理论及方法	(47)
3.2.1 双曲扁壳基本微分方程	(47)
3.2.2 简化算法	(49)
3.2.2.1 位移 w 及 m_x, m_y 的计算	(50)
3.2.2.2 应力函数 Φ 及 n_x, n_y, v_t 的计算	(51)
3.2.2.3 计算方法	(53)
3.3 双曲扁壳算例及力学特性	(54)
3.3.1 现浇钢筋混凝土双曲扁壳算例	(54)
3.3.2 装配整体式钢筋混凝土双曲扁壳算例	(57)
3.3.3 力学特性	(60)
3.4 设计要点	(61)
3.4.1 几何尺寸及配筋	(61)
3.4.2 边缘构件	(61)
3.4.3 装配整体式双曲扁壳	(67)
4 圆柱面薄壳	(70)
4.1 选型设计	(70)
4.2 圆柱面薄壳计算理论	(71)
4.2.1 圆柱面壳薄膜内力	(71)
4.2.1.1 基本微分方程	(71)
4.2.1.2 均布荷载	(72)
4.2.1.3 自重及雪荷载作用下的薄膜内力	(73)
4.2.2 圆柱面壳弯曲内力	(74)
4.2.2.1 圆柱面壳轴对称弯曲	(74)

4.2.2.2 圆柱面壳轴对称弯曲的简化算法·····	(76)
4.3 边界效应法计算方法、算例及力学特性·····	(78)
4.3.1 计算方法·····	(78)
4.3.1.1 边梁在外荷载和边扰力作用下的变形·····	(79)
4.3.1.2 壳板在外荷载和边扰力作用下的变形·····	(81)
4.3.2 计算步骤·····	(82)
4.3.3 现浇圆柱面长薄壳算例·····	(83)
4.3.4 圆柱面短薄壳·····	(88)
4.3.4.1 计算步骤·····	(88)
4.3.4.2 现浇圆柱面短薄壳算例·····	(89)
4.3.5 力学特性·····	(94)
4.4 设计要点·····	(95)
4.4.1 几何尺寸·····	(95)
4.4.2 稳定性验算·····	(95)
4.4.3 边缘构件·····	(95)
4.4.4 构造要求·····	(97)
5 折板结构 ·····	(100)
5.1 选型设计·····	(100)
5.1.1 折板结构形式·····	(100)
5.1.2 选型设计·····	(101)
5.2 V形折板内力分析方法·····	(103)
5.2.1 内力分析方法·····	(103)
5.2.2 非预应力钢筋混凝土V形折板算例·····	(106)
5.3 V形折板屋盖设计要点·····	(106)
5.3.1 材料及配筋·····	(106)
5.3.2 采光和通风·····	(108)
6 双曲抛物面薄壳 ·····	(109)
6.1 选型设计·····	(109)
6.1.1 几何特性·····	(109)
6.1.2 选型设计·····	(110)
6.2 双曲抛物面薄壳计算理论和方法·····	(111)
6.2.1 双曲抛物面薄壳计算理论·····	(111)
6.2.1.1 阶梯函数和脉冲函数的性质·····	(112)
6.2.1.2 微分方程和边界条件·····	(113)
6.2.1.3 用伽辽金变分法求解·····	(113)
6.2.2 现浇组合型双曲抛物面薄壳算例·····	(115)
6.3 力学特性·····	(118)
6.4 设计要点·····	(118)
6.4.1 边缘构件·····	(118)
6.4.2 构造要求·····	(119)

7 板壳有限元法内力分析	(121)
7.1 薄板的弯曲	(121)
7.1.1 应变、应力、弯矩、扭矩表达式	(121)
7.1.2 变形能表达式	(123)
7.1.3 组合应力分量	(123)
7.2 刚度矩阵和荷载向量	(124)
7.2.1 单元刚度矩阵	(124)
7.2.2 单元荷载向量	(125)
7.3 常用的板壳单元	(125)
7.3.1 单元的相容条件	(125)
7.3.2 矩形单元	(126)
7.3.3 简化的三次三角形单元	(126)
7.3.4 克劳夫(Clough-Tocher)三角形单元	(127)
7.4 用板壳单元进行内力分析	(129)
7.4.1 整体坐标系与局部坐标系	(130)
7.4.2 局部坐标系中板壳单元的刚度矩阵	(131)
7.4.3 单元刚度矩阵从局部坐标系向整体坐标系的转换	(133)
7.4.4 主从自由度的处理	(133)
7.4.5 伪单元	(135)
8 折壳结构	(137)
8.1 闭口式大平板折壳结构算例及分析	(138)
8.2 开口式大平板折壳结构算例及分析	(139)
9 装配式薄壳结构施工	(141)
9.1 壳板的预制	(141)
9.1.1 对混凝土的质量要求	(141)
9.1.2 混凝土浇筑技术	(141)
9.1.3 模板	(142)
9.1.4 预制壳板精度要求	(142)
9.2 壳板的拼装	(142)
9.2.1 支架设计	(143)
9.2.2 壳板安装及标高调整	(144)
9.2.3 灌缝及支架拆除	(144)
9.3 薄壳结构安装	(144)
9.3.1 高空拼装法	(144)
9.3.2 整体顶升法	(145)
9.3.2.1 上顶升法	(145)
9.3.2.2 下顶升法	(146)
9.3.2.3 顶升时应注意的主要问题	(146)
9.3.3 整体提升法	(148)

第二篇 空间网格结构

10 总 论	(150)
10.1 概 述	(150)
10.1.1 定义	(150)
10.1.2 分类及发展	(150)
10.1.3 特点及存在问题	(151)
10.2 空间网格结构体系设计	(151)
10.2.1 结构形体设计	(152)
10.2.2 单元分析及组合	(152)
10.2.3 连接	(152)
11 网架结构设计	(153)
11.1 我国常用的网架结构型式	(153)
11.1.1 双层网架结构的常用型式	(153)
11.1.1.1 交叉桁架体系	(153)
11.1.1.2 四角锥体系	(155)
11.1.1.3 三角锥体系	(156)
11.1.1.4 折线形网架	(157)
11.1.2 三层网架结构的常用型式	(157)
11.2 网架几何不变性分析	(159)
11.2.1 网架几何不变的必要条件	(159)
11.2.2 网架几何不变的充分条件	(160)
11.3 网架结构设计的一般要求	(161)
11.3.1 网架结构受力特点	(161)
11.3.2 网架结构选型设计	(161)
11.3.2.1 网架结构选型设计的基本原则	(161)
11.3.2.2 各种支承情况及平面形状的选型	(162)
11.3.3 网架结构几何尺寸选择	(165)
11.3.4 网架结构边界的处理	(166)
11.3.5 网架结构屋面排水坡度的形成	(167)
11.3.6 网架结构的起拱	(167)
11.3.7 网架结构的容许挠度	(173)
11.4 网架结构上的作用	(174)
11.4.1 永久荷载	(174)
11.4.2 可变荷载	(175)
11.4.3 温度变化作用与地震作用	(176)
11.4.4 荷载效应组合	(176)
11.5 网架结构的计算	(177)
11.5.1 空间桁架位移法	(178)
11.5.1.1 基本假定	(179)

11.5.1.2 单元刚度矩阵·····	(179)
11.5.1.3 结构总刚度矩阵·····	(181)
11.5.1.4 边界条件及对称性利用·····	(185)
11.5.1.5 杆件内力计算·····	(187)
11.5.1.6 线性方程组求解·····	(188)
11.5.2 下弦内力法·····	(190)
11.5.2.1 基本方程式·····	(190)
11.5.2.2 杆件内力计算·····	(192)
11.5.2.3 挠度计算·····	(194)
11.5.2.4 矩形平面网架的内力和挠度计算用表及算例·····	(195)
11.5.3 交叉梁系差分法·····	(197)
11.5.3.1 基本微分方程·····	(197)
11.5.3.2 差分法基本概念·····	(198)
11.5.3.3 网架的差分表达式·····	(199)
11.5.3.4 边界条件处理·····	(200)
11.5.3.5 网架内力计算·····	(202)
11.5.3.6 算例·····	(204)
11.5.4 拟夹层板法·····	(206)
11.5.4.1 基本微分方程·····	(206)
11.5.4.2 基本微分方程级数解·····	(211)
11.5.4.3 计算表格制作及使用·····	(212)
11.5.4.4 网架杆件内力计算·····	(213)
11.5.4.5 正放四角锥网架算例·····	(214)
11.5.5 假想弯矩法·····	(218)
11.5.6 网架温度应力计算·····	(223)
11.5.7 地震作用下的内力计算原则·····	(226)
11.6 网架结构杆件和节点的设计与构造·····	(228)
11.6.1 杆件的设计与构造·····	(228)
11.6.1.1 杆件材料与截面形式·····	(228)
11.6.1.2 网架杆件的计算长度·····	(228)
11.6.1.3 网架杆件的容许长细比 $[\lambda]$ ·····	(229)
11.6.1.4 杆件最小截面尺寸·····	(229)
11.6.1.5 杆件截面选择·····	(229)
11.6.2 节点的设计与构造·····	(230)
12 网壳结构内力分析及设计·····	(239)
12.1 选型设计·····	(239)
12.1.1 球面网壳网格的划分·····	(239)
12.1.1.1 短程线网格划分方法·····	(239)
12.1.1.2 四边形网格子午线划分法·····	(247)
12.1.1.3 球面网壳的形式·····	(247)
12.1.2 圆柱面网壳的形式及水平推力处理·····	(249)

12.1.3 双曲抛物面网壳的形式及等弦长计算·····	(251)
12.1.4 矢跨比、高跨比·····	(252)
12.2 内力分析方法·····	(253)
12.2.1 双层网壳空间桁架位移法·····	(253)
12.2.2 单层网壳空间梁单元分析法·····	(255)
12.2.2.1 单元局部坐标系的确定及坐标变换矩阵·····	(255)
12.2.2.2 单元刚度矩阵·····	(257)
12.2.2.3 单元荷载的处理·····	(259)
12.3 工程实例·····	(260)
12.3.1 日本东京国际贸易中心2号馆·····	(260)
12.3.2 扬州大学农学院礼堂·····	(261)
12.3.3 日本神户港岛野外剧场·····	(263)
12.3.4 日本筑波国际科学技术博览会集会大厅·····	(264)
12.3.5 广东东莞雄狮大酒店多功能厅·····	(265)
13 空间网格结构施工 ·····	(266)
13.1 网架结构施工·····	(266)
13.1.1 制作与拼装·····	(266)
13.1.1.1 节点及杆件制作·····	(266)
13.1.1.2 网架结构拼装·····	(269)
13.1.2 网架安装·····	(271)
13.1.2.1 高空散装法·····	(271)
13.1.2.2 分条(分块)吊装法·····	(275)
13.1.2.3 高空滑移法·····	(277)
13.1.2.4 整体提升及整体顶升法·····	(283)
13.1.2.5 整体吊装法·····	(287)
13.2 网壳结构施工·····	(288)
13.2.1 高空散装法·····	(288)
13.2.2 分条(分块)安装法·····	(292)
13.2.3 外扩法·····	(292)
13.2.4 内扩法·····	(293)

第三篇 张拉结构

14 总论 ·····	(294)
14.1 概述·····	(294)
14.2 悬索屋盖的构成、分类及特点·····	(294)
14.2.1 悬索屋盖的构成·····	(294)
14.2.2 悬索屋盖的分类·····	(295)
14.2.3 悬索屋盖的特点·····	(295)

15 悬索结构设计的基本问题	(298)
15.1 水平力的处理	(298)
15.1.1 内部平衡方法	(298)
15.1.1.1 拱的形式	(298)
15.1.1.2 环的形式	(301)
15.1.1.3 水平梁加压杆的形式	(301)
15.1.1.4 平衡的形式	(302)
15.1.1.5 悬臂柱的形式	(304)
15.1.1.6 框架平衡的形式	(304)
15.1.2 外部平衡方法	(305)
15.1.2.1 后拉索的形式	(306)
15.1.2.2 主索的形式	(306)
15.1.3 组合平衡方法	(307)
15.2 变形的处理	(308)
15.2.1 加强刚度的方法	(308)
15.2.1.1 利用重屋盖加强刚度	(308)
15.2.1.2 利用抗弯构件加强刚度	(309)
15.2.1.3 利用稳定索加强刚度	(309)
15.2.1.4 用壳体作用加强刚度	(309)
15.2.2 不影响装修	(309)
15.3 预应力、垂度与矢高	(309)
15.3.1 预应力的影响	(310)
15.3.2 垂度、矢高的影响	(310)
15.4 抗震及抗风	(313)
15.5 设计计算方法	(313)
15.5.1 设计方法	(313)
15.5.2 计算方法	(314)
15.5.3 计算假定	(315)
16 单向单层悬索屋盖	(316)
16.1 单索的基本方程	(316)
16.1.1 单索平衡方程	(316)
16.1.1.1 沿跨度均布荷载	(316)
16.1.1.2 沿索曲线均布荷载	(317)
16.1.1.3 任意分布荷载	(318)
16.1.2 单索变形协调方程	(319)
16.1.2.1 索长计算	(320)
16.1.2.2 索变形协调方程	(320)
16.1.3 单索计算	(321)
16.2 单向单层悬索屋盖设计	(322)
16.2.1 结构布置	(322)
16.2.2 结构计算	(323)

16.2.2.1 结构计算简图及荷载	(323)
16.2.2.2 参数选择	(323)
17 单向双层悬索屋盖	(327)
17.1 仅有竖腹杆且跨内无交点	(327)
17.2 仅有竖腹杆,上下索在跨中点相连	(329)
17.3 单向双层悬索屋盖设计	(332)
17.3.1 结构布置	(332)
17.3.2 参数选择	(332)
17.3.2.1 索内预应力	(332)
17.3.2.2 垂度	(332)
17.3.2.3 悬索截面积	(332)
17.3.3 施工过程计算	(333)
17.3.4 设计算例	(333)
18 辐射状悬索屋盖	(336)
18.1 轮辐式悬索结构基本方程	(336)
18.1.1 满布均布荷载的情况	(337)
18.1.2 非均布的极对称荷载	(338)
18.2 轮辐式屋盖设计计算	(339)
18.2.1 结构选型及布置	(339)
18.2.2 参数选择	(339)
18.2.3 施工过程验算	(340)
18.2.4 外环计算	(341)
18.2.5 算例	(342)
19 正交索网悬索屋盖	(343)
19.1 双曲抛物面索网的几何形态	(343)
19.2 正交索网的等代薄膜	(344)
19.3 索网的基本方程	(345)
19.4 近似解法之一——加权残数法	(346)
19.5 近似解法之二——差分法	(347)
19.6 椭圆形双曲抛物面正交索网的计算	(348)
19.6.1 索网计算方法	(348)
19.6.2 椭圆形外环的计算	(350)
19.6.3 考虑椭圆形外环变形的索网计算	(353)
20 悬索结构有限单元法分析	(355)
20.1 计算假定	(355)
20.2 节点平衡方程	(355)
20.3 非线性方程组的求解方法	(357)

20.3.1 牛顿法	(357)
20.3.2 改进牛顿法	(358)
20.3.3 荷载增量法	(358)
20.4 初始态的确定	(358)
20.5 温度效应及索单元的松弛	(359)
20.5.1 温度效应	(359)
20.5.2 索单元的松弛	(359)
20.6 悬索结构分析计算机程序	(360)
21 悬索结构的构造及施工	(361)
21.1 钢索	(361)
21.1.1 型钢及钢筋	(361)
21.1.2 钢丝束、钢绞线、钢丝绳及静力性能	(361)
21.2 钢索的连接与锚固	(364)
21.2.1 索与索的连接	(364)
21.2.2 索与屋面和吊顶的连接	(364)
21.2.3 斜拉索与屋面构件的连接	(364)
21.2.4 索与地锚的连接	(364)
21.2.5 锚具	(365)
21.3 悬索结构施工	(366)
21.3.1 单向单层悬索屋盖施工	(366)
21.3.2 单向双层悬索屋盖施工	(369)
21.3.3 双层辐射状悬索屋盖施工	(372)
21.3.4 双向单层(索网)悬索屋盖施工	(372)
22 薄膜结构	(378)
22.1 薄膜结构分类及优缺点	(378)
22.1.1 张拉式薄膜结构	(378)
22.1.2 充气式薄膜结构	(378)
22.1.3 薄膜结构优缺点	(380)
22.2 薄膜结构基本方程	(381)
22.2.1 平衡方程	(381)
22.2.2 物理方程	(381)
22.2.3 几何方程	(381)
22.2.4 抗皱条件	(382)
22.3 气承式球面薄膜结构内力计算	(382)
22.3.1 内压作用下的薄膜内力	(382)
22.3.2 自重作用下的薄膜内力及所需内压	(382)
22.3.3 对称雪荷载作用下的薄膜内力及所需内压	(383)
22.3.4 半边雪荷载作用下的薄膜内力及所需内压	(384)
22.3.5 风荷载作用下的薄膜内力及所需内压	(385)
22.4 筒状充气薄膜结构	(385)

22.4.1 内压作用下的薄膜内力·····	(385)
22.4.2 自重作用下的薄膜内力·····	(386)
22.4.3 对称雪荷载作用下的薄膜内力·····	(386)
22.4.4 半边雪荷载作用下的薄膜内力·····	(386)
22.4.5 风荷载作用下的薄膜内力·····	(387)
22.5 充气式薄膜结构工程实例 ·····	(387)
22.5.1 1970 年大阪世界博览会富士馆 ·····	(387)
22.5.2 移动式医院·····	(388)
22.5.3 气承式充气结构体育馆·····	(388)

第四篇 组合空间结构

23 总 论 ·····	(392)
23.1 张拉组合空间结构 ·····	(393)
23.1.1 斜拉网架结构·····	(393)
23.1.2 悬索网架结构·····	(395)
23.1.3 张弦网架结构·····	(395)
23.2 组合空间网格结构 ·····	(396)
23.2.1 组合网架结构·····	(396)
23.2.2 组合网壳结构·····	(397)
24 组合网架结构·····	(398)
24.1 选型 ·····	(398)
24.1.1 面板·····	(398)
24.1.2 网格形式·····	(399)
24.1.3 组合网架高及网格尺寸·····	(399)
24.2 内力计算方法 ·····	(399)
24.2.1 拟板法·····	(399)
24.2.1.1 面层刚度的计算·····	(400)
24.2.1.2 等效抗弯刚度·····	(400)
24.2.1.3 构件内力计算·····	(400)
24.2.2 拟网架法·····	(402)
24.2.2.1 面板的等代杆·····	(402)
24.2.2.2 面板的面内力·····	(404)
24.2.2.3 面板的弯曲·····	(404)
24.3 组合网架设计与构造 ·····	(404)
24.3.1 自重估算·····	(404)
24.3.2 钢筋混凝土面板设计·····	(405)
24.3.3 节点构造·····	(405)
24.4 组合网架施工 ·····	(405)

25 张拉网架结构..... (407)

25.1 斜拉网架结构 (407)

25.1.1 选型..... (407)

25.1.2 分析..... (408)

25.1.2.1 内力分析方法..... (408)

25.1.2.2 斜拉索可假定为一直线杆..... (408)

25.1.2.3 几何非线性影响较小,可忽略 (408)

25.1.2.4 材料非线性问题..... (409)

25.1.2.5 塔柱位移的影响..... (409)

25.1.2.6 内力分析考虑的两个状态..... (410)

25.1.2.7 斜拉索预应力值..... (410)

25.1.2.8 风荷载的作用..... (411)

25.1.2.9 温度影响..... (411)

25.1.3 设计构造与施工..... (411)

25.2 张弦网架结构 (412)

25.2.1 选型..... (412)

25.2.2 分析..... (414)

25.3 悬索网架结构 (417)

25.3.1 布索及端部锚固..... (417)

25.3.2 分析方法..... (417)

25.3.3 结构选型研究..... (419)

25.3.4 设计建议..... (420)

25.3.5 索的张拉..... (420)

附 录 (422)

附录 1 圆形底旋转壳内力分析用 η 表及几何尺寸图 (422)

附录 2 双曲扁壳在均布荷载作用下薄膜内力系数表 (423)

附录 3 双曲扁壳带拉杆双铰拱内力用表 (425)

附录 4 圆柱面壳内力、位移系数表及几何尺寸图..... (428)

附录 5 蜂窝形三角锥网架内力、挠度计算用表..... (430)

附录 6 拟夹层板法 $\bar{w}, \bar{M}_x, \bar{M}_y, \bar{Q}_x, \bar{Q}_y$ 系数表 (431)

附录 7 差分法节点挠度系数表 (433)

附录 8 悬索屋盖风荷载体型系数 (436)

附录 9 悬索屋盖雪荷载分布系数 (437)

参考文献 (438)