



Theory and Practice of New Type Architectural Space Griding Structures

新型建筑空间网格结构 理论与实践

© 马克俭 张华刚 郑 涛 著



人民交通出版社

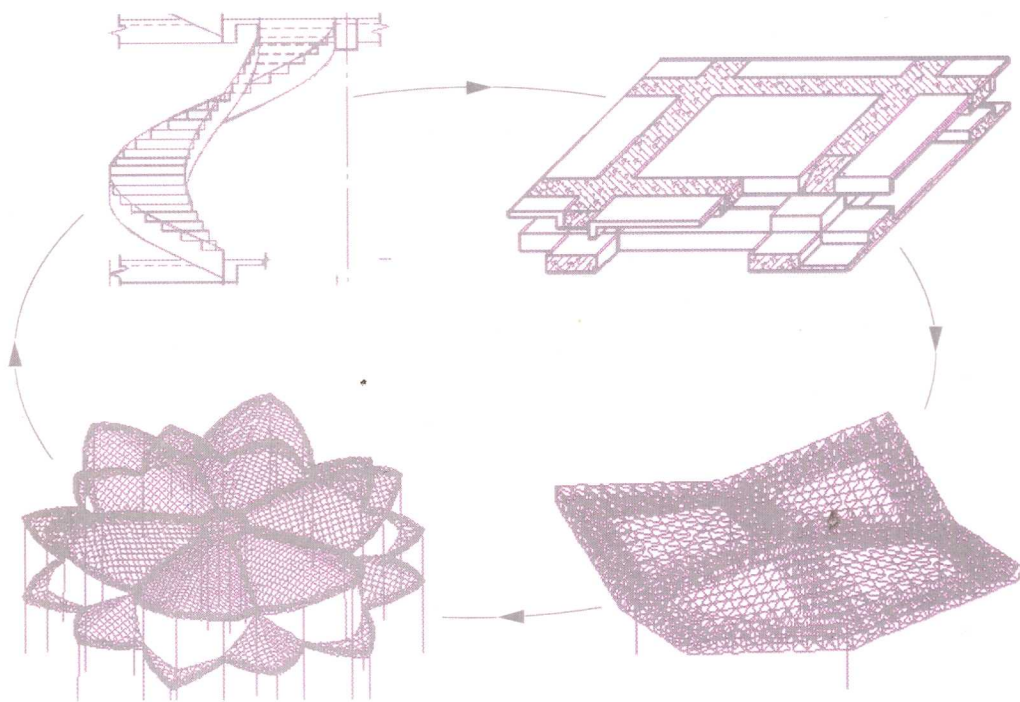
China Communications Press



Theory and Practice of New Type Architectural Space Griding Structures

新型建筑空间网格结构 理论与实践

© 马克俭 张华刚 郑 涛 著



人民交通出版社

内 容 提 要

本书是作者在改革开放二十余年来,在建筑空间网格结构方面 20 多项创新成果的汇编。书中涉及各类新型空间网格结构的组成、构造、理论分析、科学试验与工程试践。这些新型空间网格结构体系已在国内十多个省、市、自治区推广应用,取得了显著的经济与社会效益,有些类型已编入地区技术规程和国家技术规程。

全书分上、中、下三篇共十一章,涉及新型钢筋混凝土空间网格结构、新型钢空间网格结构、新型钢-混凝土组合空间网格及特殊形式空间网格结构等 20 余项结构形式,有较高的理论和实用价值。

本书可作为建筑结构专业技术人员的参考用书以及高校研究生、教师的辅助教材和参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

新型建筑空间网格结构理论与实践/马克俭,张华刚,郑 涛著.

—北京:人民交通出版社,2005.11

ISBN 7-114-05850-0

I. 新... II. ①马... ②张... ③郑... III. 空间结构:
网架结构—研究 IV. TU356

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 138338 号

书 名: 新型建筑空间网格结构理论与实践

著 作 者: 马克俭 张华刚 郑 涛

责任编辑: 陈志敏

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpress.com.cn>

销售电话: (010)85285656, 85285838, 85285995

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 24.75

插 页: 4

字 数: 616 千

版 次: 2006 年 1 月第 1 版

印 次: 2006 年 1 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-114-05850-0

印 数: 0001~3000 册

定 价: 55.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书,由本社负责调换)



21世纪结构工程领域重要著作书系

总 序

在过去的几十年乃至未来很长一段时间,我国已经进行并将继续进行着有史以来最大规模的基本建设,其中最引人注目的如大跨度桥梁、大型体育场馆、高层建筑、深埋地下空间结构、大坝结构以及新型结构等等,代表了我国结构工程学科的蓬勃发展和巨大成就。作为土木工程领域中一个重要学科体系,结构工程学科涉及面广、发展迅速、从业人员众多。在21世纪中,为开创具有中国特色、具有国际一流水平的土木工程领域的新纪元,结构工程学科必将在其中起到决定性作用。

与时俱进,一直是结构工程学科的主旋律。

首先是社会需求的变化,随着经济的发展和功能要求的提高,从最初的低层建筑、小型结构,发展到现在的高层建筑、跨河跨海桥梁、大型体育场馆与会展中心、越江隧道、巨型拱坝,这些都为结构工程提供了新的要求和发展契机,正是在大规模基础建设的推动下,结构工程学科取得了巨大进步。

在新世纪里,社会需求必将会对结构工程学科提出新的挑战,学科本身更将在不断创新和满足社会需求中获得进步。从传统的砌体结构、混凝土结构、钢结构,到现在的预应力混凝土结构、大跨空间结构,乃至预应力钢结构、钢—混凝土结合结构,实现了我们以前不能想像的建筑形式,优化了工程技术本身,为我们展现了结构工程学科广泛深入的应用空间。而且随着各个学科的不断深入研究,随着新材料、新技术、新理论不断发展,各种结构体系还将有新的发展。

21世纪的结构工程领域,对人才的要求有了更高的标准,专业技术人员应该具备完整的知识结构以适应现代工程科技发展的需要,在工程实践、理论修养和计算能力等方面继续学习新知识、掌握新技术,加强分析问题、解决问题的能力,同时具备较强的创新能力。

科研工作者除了本身的科研与实践工作外,还应该致力于知识传播。因此本书系应该包括老一辈专家的成果和经验总结及新一代中青年专家的创新成就。编著一本好书用以影响一个领域,影响几代人,这也是作为学者的使命和历史责任。

欣闻人民交通出版社将组织出版“21世纪结构工程领域重要著作书系”,并已经在过去两年中做了许多工作,甚感欣慰。他们的想法总结起来有以下几点:

(1)面向21世纪百年时间,收录这期间结构工程各专业领域中具有较大影响的重要著作,将其做成品牌书系,为专家学者和读者搭建一个写好书读好书的平台。

(2)面向最广泛的结构工程科研、技术人员及师生,面向工程应用,为科研实践与工程实践

服务。

(3)倡导严谨务实,推动技术应用和学科进步,保证书系中各图书均为各领域研究与实践中的经典图书。

(4)本书系既包括国内专家的图书,又关注国外本领域重要著作,以达到提高与交流的目的。

这个书系的想法非常好,我相信会在土木工程领域产生重大影响,对结构工程学科的进步起到很大的推动作用,会为广大技术人员提供一批好书,帮助他们在工程实践中继续取得更大的成就。

中国工程院院士 赵国藩
大连理工大学

2003年4月13日

本书序

空间网格结构是一种由杆单元、梁柱单元及板壳单元集成的空间三维结构体系,随着现代经济建设及科技、文化事业的迅速发展,在工业与民用建筑及公共建筑领域里需求越来越多。大跨度单层与多层建筑和大柱网、大开间的多层与高层建筑,这些大空间的屋盖和楼盖结构体系最适合应用空间网格结构体系,以求达到大跨度、大空间、灵活划分房间、多功能应用的现代建筑要求。我国 20 世纪 80 年代初期迅速发展起来的空间网格结构体系(网架与网壳),是我国经济建设突飞猛进的历史见证。我国地域辽阔,经济发展不平衡,如何结合地区经济发展的特点和需要,改进和创新新型空间网格结构,是我们建筑结构科技工作者的历史使命和责任。专著中讨论的“新型钢筋混凝土空间网格结构”(上篇)、“新型钢空间网格结构”(中篇)及“新型钢—混凝土组合空间网格结构及特殊形式空间网格结构”(下篇),涉及二十多种新型空间网格结构体系,均是本书作者现贵州大学空间结构研究所所长马克俭教授长期以来,在党的“教学、科研、生产三结合”和“理论与实践相结合”的方针指导下,在传统空间网格结构基础上,与研究所成员共同努力,不断开拓创新,为我国建筑空间结构科学技术发展作出的贡献。

早在上世纪 80 年代初期,当时我在中国建筑科学院进行“钢—混凝土组合网架结构”课题研究阶段,得知原贵州工学院土木系也在从事此项课题的试验研究,我专程到贵阳市,从此结识了马克俭教授。在随后的岁月里,我们联合出版专著《组合网架结构与空腹网架结构》,共同创办《空间结构》季刊,并联合培养博士研究生。这段时间还主持和参加了他研制的“钢筋混凝土空腹网架结构”、“钢筋混凝土空腹夹层板楼盖结构”、“大跨度预应力双层组合扭网壳结构”等多项课题的技术鉴定。在共同为我国空间结构事业的发展不断努力工作的过程中,我们加深了了解和信任,建立了同志式的友谊。

这本《新型建筑空间网格结构理论与实践》,是作者结合地区经济发展的特点,因地制宜地进行技术改进与创新的产物,除了在贵州省应用外,还推广应用于四川、青海、广东、吉林、新疆等十多个省、市、自治区。这些新型空间网格结构合理地利用了“拟夹层板”力学模型的特性,根据预应力钢结构力学原理,将扭网壳和双曲扁网壳边缘设系杆处以高强钢索取代,并建立预应力达到提高结构刚度改善内力分布的作用。近期在四川成都国际会议中心,13.5 万平方米大跨度展览大厅的钢屋盖采用“下弦管内预应力空间管桁架结构”,亦是利用“预应力拉杆设计”原理,在确保结构刚度和强度条件下,节约钢材 30%,竣工验收后,达到预期的效果。

本书各篇内容具有开拓性和新颖性,有助于广大土木工程科技人员的阅读、提高和工程应用,并可促进空间网格结构在我国进一步发展和应用,是一本具有开拓创新的优秀著作。在专著即将出版发行之际,期待更多的科技工作者在空间结构科技领域内出版具有开拓性的著作,为发展和繁荣我国空间结构事业作出更多、更有价值的贡献。

中国工程院院士 董石麟
浙江大学教授

2005 年 8 月于杭州市

作者简介



马克俭(Ma Kejian),男,汉族,贵州大学教授、研究生导师。1933年11月22日出生,湖南岳阳人。1958年毕业于湖南大学土木系(前中南土木建筑学院)。1959年至1961年初,在浙江大学进修《钢结构》及《弹性力学》。现任贵州大学空间结构研究所所长,兼任贵州大学勘察设计研究院(甲级)总工程师,国家一级注册结构工程师、贵州省勘察设计(结构)大师、贵州省省管专家、贵州省土木建筑学会常务理事、贵州省建设厅专家委员会委员、中国土木工程学会空间结构委员会委员、中国钢协预应力钢结构委员会理事、国家自然科学基金评审委员会成员。1999年获“全国劳动模范”称号和“五一”劳动奖章。

在建筑结构领域内,作者长期从事“教学、科研、生产”三结合工作,在“科学技术研究成果转化为生产力”方面成效显著,先后有20多项研究成果转化为实际工程。其中“钢筋混凝土空腹网架结构”及“钢筋混凝土空腹夹层板楼盖结构”已在全国近十个省、市、自治区推广使用近110余万平方米,并编制地区规程。近年来研究成功的专利技术“大柱网多层与高层建筑钢筋混凝土单向空心大板楼盖结构”,在短短的一年多时间里,就有三项大柱网高层10多万平方米建筑采用,获得了良好的社会和经济效益,其中2004年“贵州世贸广场”(25层,4.2万平方米)获“中国楼盘创新大奖”及“CIHAF2004年度中国最佳写字楼”为有力的见证。在钢网结构研究成果转化为实际工程方面,也颇有建树,如“预应力双层组合扭网壳结构”、“预应力单层、双层组合扭网壳结构”、“预应力中央单层周边双层双曲扁网壳结构”等都转化为实际工程。2004年“大跨度下弦管内预应力空间管桁架结构”的研究成果,在四川省成都市国际会议中心大型展览馆工程(13.5万平方米)中应用,节省投资近2000万元。

在“理论与实践相结合”的基础上,先后带领研究生撰写专题研究报告十多本(近110万字),在国内外发表论文100余篇,已出版专著三部、地区规程和国家规程各一种。1988年至2003年期间,作者以主持人身份获得国家、省、部级科技进步一、二、三等奖9项,国家实用新型专利与发明专利16项,省优秀设计二等奖2项,全国发明展览会金牌奖2项,全国创造发明竞赛一、二等奖各1项,香港柏灵顿(中国)教育基金会第四届孺子牛金球奖1项,合计20余项。本书撰写内容为作者20年来在建筑空间网架结构领域里的20余项自主创新成果汇编,从结构组成与构造、理论分析与科学试验到工程应用与技术经济指标,进行归纳整理,以期在党的“科学发展观”的总方针指导下“与时俱进”,进一步“开拓创新”。

前言

20 世纪 80 年代,党的“改革开放”的阳光普照祖国大地,地处西南一隅的山城贵阳同样也感受到科学春天的来临。贵州省由于经济欠发达,科学技术的发展也滞后于京、津、沪和东部发达地区。我们承认落后,但不甘心落伍,急起直追,“在消化吸收先进地区先进的科学技术的同时,结合我省省情,开拓与创新适合我省和西部地区经济发展需要的新技术、新产品”,是我们从事科学研究的宗旨。在 20 世纪 80 年代,具有三维空间受力的平板型钢网架和曲面型钢网壳结构,在建筑结构科学领域里属热门课题之一。它是改革开放后,适应工业、交通、文教、体育、贸易、展览等事业的蓬勃发展,社会建设的需要,大柱网、大开间、大跨度的单层、多层与高层建筑结构得到迅速发展和开拓的需要,而出现的新型空间钢网格结构形式。我们在学习空间钢网格结构的理论与实践过程中,深深地体会到党的“技术创新”和“科学技术成果迅速转化为生产力”号召的无穷力量,这是我们在学习先进技术的同时,结合省情开拓与创造新的空间网格结构的原动力。在公共建筑中,跨度在 18~30m 的建筑居大多数,除了钢网格结构外,钢筋混凝土网格结构也显现其生命力,于是出现了“钢筋混凝土空腹网架结构”和“钢筋混凝土空腹夹层板楼盖结构”等大柱网、大跨度新型钢筋混凝土空间网格结构。在大柱网多层与高层建筑中,关键是如何做到大柱网、大开间、灵活划分房间的多功能综合应用需要,而又做到造价低、施工周期短。我们研制的“现浇混凝土正交异性空心大板楼盖结构”成功地应用于大柱网高层建筑结构中。在大跨度钢网格结构的实践中,我们开发了“大跨度预应力双层钢网壳结构”和“预应力单层与双层组合网壳结构”;在拟梁式空间钢网格结构方面,我们在“空间管桁架结构”及“张弦梁”、“张弦桁架结构”的基础上,开发出“大跨度下弦管内预应力空间管桁架结构”和“大跨度短撑杆式新型空间张弦桁架结构”;在平板型钢网格结构研究与实践中,我们开发了“格构式竖杆钢空腹网架结构”和“钢空腹夹层板楼盖结构”;在钢—混凝土组合网格结构的实践中,我们将“钢—混凝土组合空腹夹层板与钢管混凝土柱组合板柱结构”和“钢—混凝土协同式组合网架结构”成功地应用于大柱网多、高层建筑的楼盖和屋盖结构中;我们利用空间网格结构的基本原理,成功开发出“大型装配整体式圆弧形螺旋式钢梯结构”和“大跨度预应力双作用钢管混凝土拱与钢—混凝土组合空腹夹层板组合桥梁结构”。

从 1985 年起,在研究生培养中,我们遵循“教学、科研、生产”三结合的教育方针,研究课题既应用于工程实践,又结合研究生学位论文和科学试验等方面需要,使理论与实践密切结合,根据对各种新型空间网格结构的研究成果,分别从理论研究、科学试验和工程应用方面撰写出十多册专题研究报告近 100 万字。这些专题研究报告是针对空间网格结构某一种结构类型而

作,是十多年来“教学、科研、生产”三结合的科研成果的技术总结,它见证了我们在科学技术道路上逐渐成长的全过程。回顾近二十多年来在空间网格结构方面的理论与实践,近几年来笔者分别在马鞍山、北京、成都、西安、呼和浩特、新疆库尔勒及上海等地,对上述创新的建筑空间网格结构作了专题报告。在实践过程中,这些新型空间网格结构体系,不仅为贵州省经济建设服务,也相继推广应用于四川、广东、广西、湖南、河南、安徽、吉林、青海、新疆等十多个省、市和自治区,并取得了良好的社会效益和经济效益。在祖国经济建设蓬勃发展的今天,在党的“科学发展观”、“以人为本”和“建设节约型社会”总体方针指导下,对上述创新成果进行总结,从理论研究、科学试验到工程实践方面进行综合性整理,写出综合性研究报告——《空间网格结构的开拓发展与应用》,在此基础上将综合性研究报告进一步梳理和深化,出版专著《新型建筑空间网格结构理论与实践》。现行的建筑空间网格结构门类较多,均有文献介绍,不再重复。本书只涉及近二十年来,作者在空间网格结构方面的技术创新成果和成果转化为工程实践的内容。这些成果中有十多项分别获得国家、省部级科技进步一、二、三等奖及全国发明展览会金牌或一等奖,还有近十项获国家发明或实用新型专利,通过工程实践证明了其适用性、先进性和经济性。全书共分三篇,上篇“新型钢筋混凝土空间网格结构”共分四章,即第一章“钢筋混凝土空腹网架结构”,第二章“钢筋混凝土空腹夹层板楼盖结构”,第三章“大柱网多高层建筑现浇混凝土框架、空心大板楼盖结构”,第四章“大跨度钢筋混凝土双重网格结构”;中篇“新型钢空间网格结构”共分四章,即第五章“拟板式新型空间钢网结构”,第六章“拟壳式新型曲面钢网结构”(含预应力新型钢网壳结构),第七章“拟梁式新型钢空间网格结构”,第八章“新型空间网格结构的有限元分析”;下篇“钢—混凝土新型组合空间网格结构及特殊形式空间网格结构”共分三章,即第九章“钢—混凝土组合网格结构及协同式组合网格结构”,第十章“新型钢—混凝土组合空腹夹层板楼盖结构”,第十一章“特殊形式的新型空间网格结构”,此处主要讨论我们研制的“大跨度预应力双作用提篮式钢管混凝土拱与钢—混凝土组合空腹夹层板组合桥”和“大型装配整体式圆弧形螺旋钢梯结构”这些新体系,有别于前面讨论的建筑物的楼盖和屋盖,故命名“特殊形式的新型空间网格结构”。专著中涉及近二十余项新型结构体系,这些新的结构体系,在研制初期均先后进行大比例缩尺模型静力超载试验分析、仿真试验分析和1:1极限承载力试验,专著中不可能一一介绍,只在上、中、下三篇中各纳入几项编入专著。全书共十一章,由马克俭执笔撰稿,其中第一、三篇由马克俭与张华刚副教授编写,第二篇由马克俭与郑涛讲师编写。书中涉及的工程实例绝大多数由马克俭主持设计,小部分是在马克俭指导下由其他同志完成。书中的各种结构体系,除了有连续化和离散化分析方法外,更注重实用分析方法,将这些新型结构体系通过精度较高的简化方法后,使之嫁接于现行通用软件,从而使新型结构体系通用性更强,以利推广应用。通过在原有传统技术的基础上的改进和创新,形成新型结构体系,这些新体系不是“无源之水”和“无本之木”,来源于生活和理论与实践相结合。撰写本书的宗旨有二:其一,促进我们在建筑空间网格结构的理论与实践,进一步总结和提高,为开拓新型空间网格结构拓宽思路;其二,将书中内容公之于众,以期得到同行专家的帮助和指正,使之更趋完善,以利进一步推广应用。

作者在十余年的技术创新道路上,自始至终得到所在单位的支持和鼓励;在科学技术成果转化生产力的实践过程中,自始至终得到省内业务主管部门的关心和帮助。一种新的结构

形式应用于工程实际,除了理论基础、科学试验外,工程实践是重要环节。多年来省内的业务主管部门为科技成果转化成为生产力给予了大力支持,从不以无规范、无规程为借口加以阻挠,而是从各方面进行开导和疏通;当成果转化成为实际的建筑工程后,又从各方面进行总结和提高,并组织人员编制规程。良好的科研环境,是孕育新技术的温床。同时在科学技术的创新过程中,我们始终得到国内知名同行专家教授和工程院院士的帮助和鼓励,是他们严谨的科学态度和治学精神及渊博的理论和实践能力,使我们在科学研究的理论和实践中更趋成熟,更具有信心和底气。在专著即将出版发行之际,谨向他们致以崇高的敬意。

马克俭

2005年8月于林城贵阳市

目 录

上 篇 新型钢筋混凝土空间网格结构

第 1 章 钢筋混凝土空腹网架结构	3
1.1 钢筋混凝土空腹网架结构的研究与应用	3
1.2 钢筋混凝土空腹网架组成与支承条件	13
1.3 钢筋混凝土空腹网架的基本几何尺寸	17
1.4 钢筋混凝土空腹网架的节点构造	21
1.5 钢筋混凝土空腹网架连续化分析方法	25
1.6 空腹网架的离散化分析方法简述	33
1.7 空腹网架交叉梁系柔度法	35
1.8 空腹网架交叉梁系刚度法	56
1.9 钢筋混凝土空腹网架结构工程算例	62
第 2 章 钢筋混凝土空腹夹层板楼盖结构	76
2.1 研制钢筋混凝土空腹夹层板楼盖结构的原因	76
2.2 钢筋混凝土空腹夹层板楼盖结构在我国的应用情况	77
2.3 钢筋混凝土空腹夹层板的基本几何尺寸与构造	93
2.4 钢筋混凝土空腹夹层板楼盖结构的构造与力学特点	95
2.5 钢筋混凝土空腹夹层板楼盖结构连续化分析方法	97
2.6 钢筋混凝土空腹夹层板楼盖结构实用分析方法	112
2.7 钢筋混凝土空腹夹层板楼盖结构离散化分析方法简介	113
2.8 工程实例:直径 $D = 50\text{m}$ 的 $1/4$ 圆形平面屋盖	113
第 3 章 大柱网多高层建筑现浇混凝土空心大板楼盖结构	120
3.1 大柱网钢筋混凝土单向空心大板楼盖结构的研制原因	120
3.2 大柱网钢筋混凝土空心大板楼盖结构的应用情况	120
3.3 大柱网多高层建筑现浇混凝土单向空心大板的构造与力学特点	125
3.4 周边简支承现浇空心大板结构连续化分析方法	133
3.5 现浇混凝土空心大板的有限元分析及实用计算方法	139

3.6 大柱网高层建筑“现浇混凝土框架空心大板—剪力墙结构”工程实例	149
第4章 大跨度钢筋混凝土双重网格结构	160
4.1 大跨度钢筋混凝土双重网格结构的研制原因	160
4.2 大跨度钢筋混凝土双重网格结构的组成与形式	160
4.3 双重网格结构的离散化线弹性分析	167
4.4 蜂窝型双重网格结构的力学特点与实用分析方法	178
4.5 大跨度钢筋混凝土双重网格结构计算实例	180
4.6 双重网格结构的构造措施	183
4.7 双重网格结构的模型试验	188
中 篇 新型钢空间网格结构	
第5章 拟板式新型空间钢网格结构	209
5.1 钢空腹夹层板楼盖结构	209
5.2 钢空腹夹层板工程实例	211
5.3 格构式竖杆钢空腹网架结构	214
5.4 格构式竖杆钢空腹网架工程实例	216
5.5 大跨度封闭型斜放四角锥点支承网架	218
第6章 拟壳式新型曲面钢网格结构	221
6.1 新型曲面钢网格结构分类	221
6.2 新型单层曲面网壳结构	222
6.3 正放四角锥与棋盘形四角锥组合三圆心双层折线型柱状网壳结构	226
6.4 单层与双层正交拱型组合网壳结构	228
6.5 莲花花瓣状单、双层组合网壳结构	231
6.6 大跨度三层与双层组合式球面网壳结构	232
6.7 大跨度预应力双层组合扭网壳结构	234
6.8 大跨度预应力单层与双层组合扭网壳结构	238
6.9 中央单层周边双层预应力双曲扁网壳结构	240
6.10 预应力变曲率双圆中央单层周边双层穹顶式网壳结构	242
第7章 拟梁式新型空间钢网格结构	245
7.1 对我国正在推广应用的几种拟梁式空间钢网格结构的认识和理解	245
7.2 新型张弦桁架结构	253
7.3 大跨度下弦管内预应力管桁架结构	258
7.4 下弦管内预应力空间管桁架结构静力超载仿真试验分析	262
7.5 下弦管内预应力管桁架结构的结构分析	271
7.6 下弦管内预应力管桁架结构工程应用实例	275
第8章 新型空间网格结构的有限元分析	282



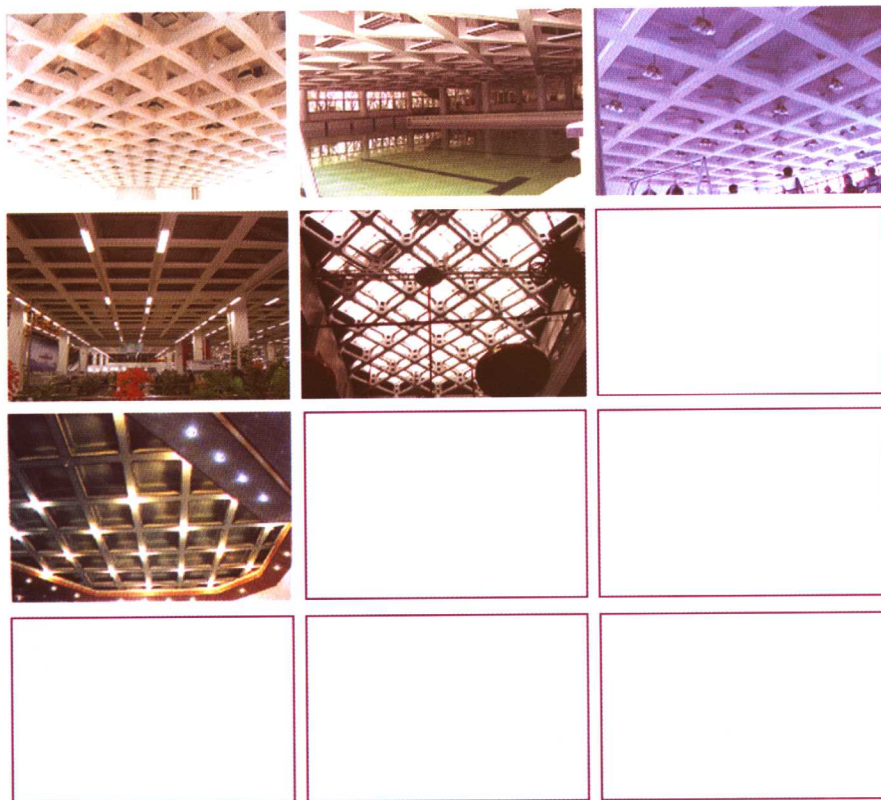
8.1 概述	282
8.2 空间铰接杆的有限元方法	282
8.3 等截面空间梁柱单元有限元方法	284
8.4 空间铰接杆系的非线性有限元方法	289
8.5 空间梁柱单元非线性有限元方法	293
8.6 空间拉索单元的有限元方法	299
8.7 新型空间网格结构有限元分析工程实例	301

下 篇 新型钢—混凝土组合空间网格结构及特殊形式空间网格结构

第 9 章 钢—混凝土组合网格结构及协同式组合网格结构	311
9.1 目前国内外钢—混凝土组合结构的分类与特点	311
9.2 现行钢—混凝土组合网架的分类及构造与计算方面有待改进的问题	315
9.3 新型复合材料组合网架结构的提出与工程实例	318
9.4 钢—混凝土协同式组合网格结构	323
9.5 钢—混凝土协同式组合空腹夹层板楼盖结构	326
第 10 章 新型钢—混凝土组合空腹夹层板楼盖结构	329
10.1 研制钢—混凝土组合空腹夹层板楼盖结构的原因	329
10.2 新型钢—混凝土组合空腹夹层板楼盖构造特点	330
10.3 钢—混凝土组合空腹夹层板楼盖结构的力学特点	335
10.4 钢—混凝土组合空腹夹层板楼盖结构的离散化线弹性分析方法	337
10.5 钢—混凝土组合空腹夹层板楼盖结构的实用分析方法简述	348
10.6 四点支承钢—混凝土组合空腹夹层板楼盖与钢管混凝土柱组合板柱结构静 超载试验	348
10.7 钢—混凝土组合空腹夹层板与钢管混凝土柱组合板柱结构的工程应用	357
第 11 章 特殊形式的新型空间网格结构	363
11.1 预应力双作用提篮式钢管混凝土拱与钢—混凝土空腹夹层板组合桥梁结构	363
11.2 预应力吊索与空腹夹层板组合结构有限元分析	365
11.3 组合结构整体有限元分析及结论	369
11.4 大型装配整体式圆弧形螺旋钢梯结构	370
11.5 装配整体式圆弧形螺旋钢梯的基本组成与构造	371
11.6 装配整体式螺旋钢梯的力学特点与实用分析方法	376
11.7 工程应用与工程实例分析	377
参考文献	380

新型钢筋混凝土空间网格结构

New Type Reinforced Concrete Space Griding Structures

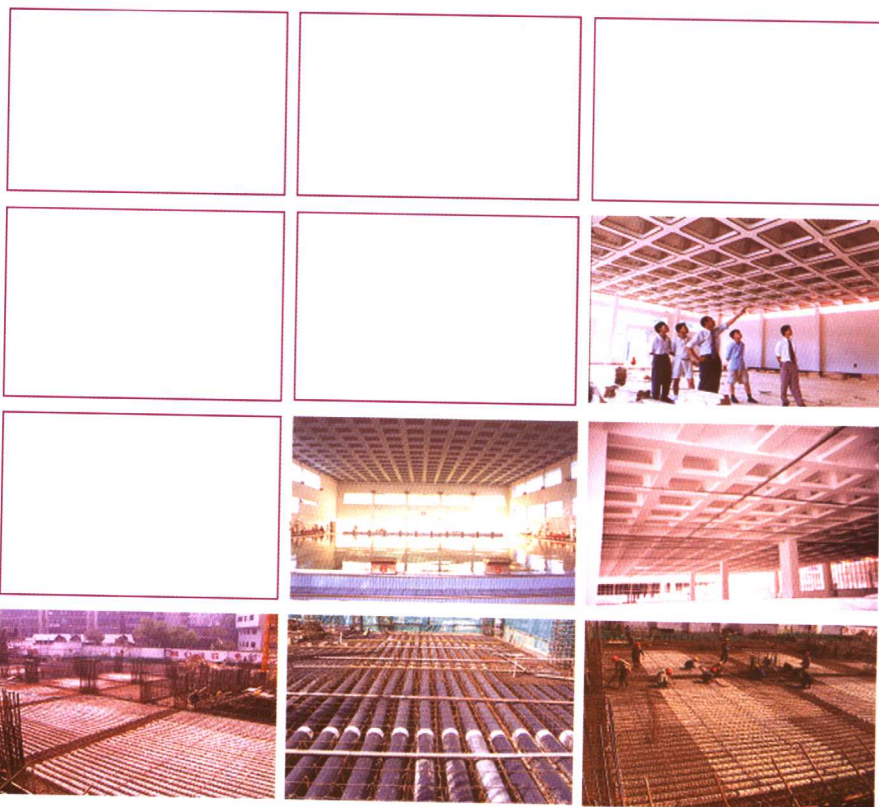


- 1 贵州安顺市体育馆楼盖(24m×42m)
- 2 深圳市宝安中学综合楼盖(31m×33m)
- 3 贵阳市青少年宫楼盖(34m×33.6m)
- 4 长春市欧亚卖场(五层)柱网(10m×10m)
- 5 贵阳市开发区采光屋顶(14.4m×28.8m)
- 7 贵州工业大学学术报告厅(18m×18m)

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12

- 6 贵州工业大学篮球馆(24m×30m)
- 8 贵州铝业公司温水游泳馆(32m×42m)
- 9 贵阳安顺国际家具城楼、屋盖(15m×15m)
- 10 贵州世贸广场楼盖(8m×8.4m)铺设空心管与绑扎钢筋图
- 11 新疆库尔勒市高层住宅(8m×8.2m)铺设空心管与绑扎钢筋图
- 12 贵阳市开发区水电科技园楼盖(8.2m×8.4m)铺设空心管与绑扎钢筋图

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12



钢筋混凝土空间网格结构的类型很多,包括上世纪 50 年代出现的钢筋混凝土井字楼盖和双重井字楼盖、上世纪 80~90 年代出现的预应力混凝土密肋井字楼盖和塑料模壳现浇混凝土密肋井字楼盖。对于这些拟板式空间网格结构,已有大量文献资料介绍和工程实践。本书只讨论由我们研制并在工程中应用的四种新型钢筋混凝土空间网格结构(共分四章)。



钢筋混凝土空腹网架结构

1.1 钢筋混凝土空腹网架结构的研究与应用

1.1.1 钢筋混凝土空腹网架结构的研制起因

上世纪 80 年代中期(1985 年左右),国内特别是沿海地区和京、津、沪等地区钢制平板型网架结构的应用成为热门,无论是工业建筑、公共建筑和商业建筑,大多采用此种结构;即便是跨度仅 12~30m 的小跨度结构,首选方案也是平板型钢网架。

我们从上世纪 80 年代初期就开始学习和研究平板型钢网架,在西南地区高校首先印制讲义“网架结构”,开设选修课,随后又和同济大学、浙江大学联合编著《空间网架结构》教材,当时这是国内继天津大学刘锡良教授编著的《平板型网架设计》之后的第二本有关网架结构的著作。钢网架结构具有空间三维受力、整体性好、刚度好、施工简单快捷等优点,特别是压制的单层波纹板和复合板问世后,板材材质轻、刚度好,它的优点得到充分发挥。80 年代中期,贵州省平板型钢网架还是凤毛麟角。在我们的协助下,现建设厅总工程师高国富同志和原市建委总工左明光同志分别主持设计,并建成遵义市铁合金厂“型钢斜放四角锥网架”和贵州师大训练馆“螺栓球节点斜放四角锥网架”屋盖。其投影面积不到 5000m²,和发达地区比较,仅为其 1/100 左右。这期间,我们两次举办网架结构学习班,但成效不大。结合本省特点,我们分析有如下原因:其一,当时平板型钢网架单价高,仅复合板就达 250~300 元/m²,在 18~30m 的屋盖结构中,其造价超过钢屋架大型屋面板;其二,贵州省气候潮湿,阴雨多,钢网架管壁薄,大多在 3mm 左右,防锈维护需要一定费用;其三,公共建筑中钢网架防火性能低,若作防火处理提高其耐火等级,造价会相应增加;其四,当时大跨度(60m 以上)公共建筑极少,一般工业与公共建

筑均在 12~30m 之间。基于上述原因,如何发挥空间三维受力网格结构优良的力学特点,同时又具有良好的耐久性、防腐性、防火性能,并减少维护费用和制造费用,这就是我们结合贵州省省情研制钢筋混凝土空腹网架结构的起因和基本思路。

1.1.2 钢筋混凝土空腹网架结构在我国的研究与应用情况

(1) 钢空腹网架的研究与应用

1979 年,英国结构工程师 Leszek Kubik 和他的儿子 Leslie 开发了一种“CUBIC Space Frame”结构体系。这是一种各个面不含三角形网格的空间构架结构体系,靠框架作用来抵抗外荷载。由于无斜腹杆,它的弦杆和竖杆除了承受轴力外,还要承受弯矩和剪力。其变形曲线属“剪切型”。利用空腹网架的上、下弦杆中部的反弯点(零弯矩)做成拼装单元,如图 1-1 所示。在拼装点采用螺栓连接,只承受轴力和剪力,不承受弯矩作用。这种单元拼装式空腹网架可在工厂制作,工地拼装,整体吊装,也可在工厂制作,运往现场,高空拼装或分块高空拼装,类似螺栓球节点网架结构。

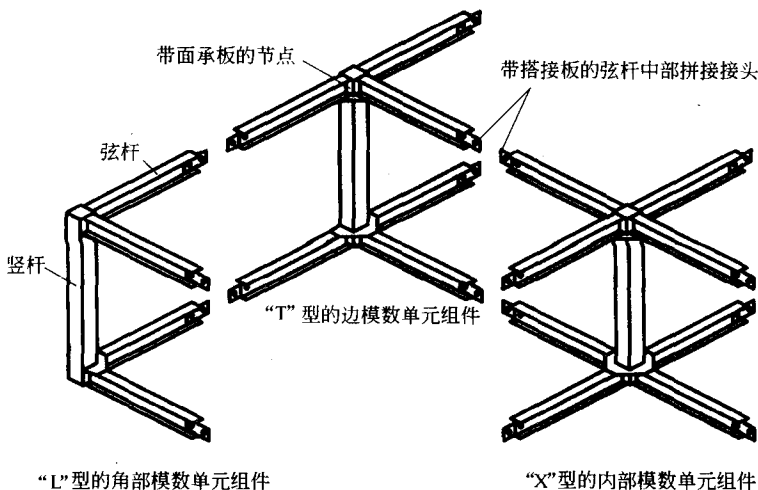


图 1-1 CUBIC Space Frame 体系的单元组件图

最早(1979 年)采用“CUBIC Space Frame”结构体系的工程为英国特伦特工业大学[现诺丁汉特伦特大学(Nottingham Trent University)]的排演厅屋顶,平面尺寸 12m×20m。随后一个大跨度的飞机库——英国斯坦斯特机场 FFV 飞机维修库(FFV Aerotech Maintenance Hangar at Stansted Airport)亦采用了钢空腹网架结构体系,即“CUBIC Space Frame”体系。该维修库平面呈菱形,前方两侧为车间,正中央为办公楼。图 1-2 为 FFV 飞机维修库总平面示意图。两对角线跨度分别为 98.304m 和 170.256m,机库屋盖后侧两边分别开 21m(高)×72m(宽)大门,可容纳两架波音 747-401 系列的飞机,空腹网架高度为 4m,网格为矩形(2048mm×3547mm),共 48 个网格,即 $48 \times 3.547 = 170.256\text{m}$ 和 $48 \times 2.048 = 98.304\text{m}$,共 1201 个拼装单元,弦杆和竖杆均采用方形竖杆和矩形上、下弦杆空心钢管,每个拼装单元重量在 0.5~1t 之间。图 1-3 为飞机维修库的钢空腹网架的结构平面布置图。根据不同的施工阶段采用不同的装配与安装方法,首先在机