

空间结构系列图书

铝合金空间网格结构

刘红波 陈志华 著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

铝合金空间网格结构/刘红波, 陈志华著. —北京:
中国建筑工业出版社, 2020.12
(空间结构系列图书)
ISBN 978-7-112-25497-2

I. ①铝… II. ①刘… ②陈… III. ①铝合金-建筑
材料-研究 IV. ①TU512.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2020) 第 184691 号

本书系统地总结和阐述了作者近年来在铝合金空间网格结构力学性能及设计方法方面的研究成果。本书内容总共分 10 章。第 1 章介绍了铝合金结构的发展过程及工程应用; 第 2 章阐述了铝合金材料的特点、分类与性能; 第 3 章阐述了铝合金空间网格结构的节点体系、选型要点、设计方法及经济性能优势; 第 4 章和第 5 章通过试验研究和数值模拟分别分析了铝合金板式节点和螺栓球节点的力学性能, 提出了两种节点的设计与计算方法; 第 6 章研究了铝合金螺栓连接的高温力学性能; 第 7 章利用数值模拟分析了不同因素对铝合金空间网格结构稳定性能的影响; 第 8 章和第 9 章分别对铝合金空间网格结构的抗震、抗风及抗火性能进行了分析; 第 10 章为国内典型铝合金空间网格结构工程实例。

本书可供从事土木工程以及相关专业技术人员参考, 也可作为土木工程专业研究生和高年级本科生的学习参考书。

责任编辑: 李 阳

责任校对: 赵 菲

空间结构系列图书
铝合金空间网格结构
刘红波 陈志华 著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)
各地新华书店、建筑书店经销
霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版
印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 千字
2020 年 月第一版 2020 年 月第一次印刷
定价: 元

ISBN 978-7-112-25497-2
(36437)

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)

编审委员会

顾问：蓝天 董石麟 沈世钊 马克俭 刘锡良 严慧 曹资
姚念亮 刘善维 张毅刚 许立准

主任：薛素铎

副主任：李亚明 周观根 刘中华 高继领 张其林 朱忠义 韩庆华
胡鸿志 黄达达 李中立 吴金志 陈志华

委员：白宝萍 北村猛 蔡小平 陈务军 高博青 耿笑冰 郝成新
雷宏刚 李凯 李明荣 刘小光 刘宜丰 罗斌 宁艳池
欧阳元文 瞿鑫 谭宁 王丰 王浩 王平 王雄
王秀丽 王元清 王喆 吴一红 向阳 徐隽 薛海滨
赵伯友 赵忠秋 支旭东 钟宪华 朱勇军 冯远 罗尧治
武岳 刘枫 任俊超 王泽强 李雄彦 孙国军 胡洁

序 言

中国钢结构协会空间结构分会自 1993 年成立至今已有二十多年，发展规模不断壮大，从最初成立时的 33 家会员单位，发展到遍布全国各个省市的 500 余家会员单位。不仅拥有从事空间网格结构、索结构、膜结构和幕墙的大中型制作与安装企业，而且拥有与空间结构配套的板材、膜材、索具、配件和支座等相关生产企业，同时还拥有从事空间结构设计与研究的设计院、科研单位和高等院校等，集聚了众多空间结构领域的专家、学者以及企业高级管理人员和技术人员，使分会成为本行业的权威性社会团体，是国内外具有重要影响力的空间结构行业组织。

多年来，空间结构分会本着积极引领行业发展、推动空间结构技术进步和努力服务会员单位的宗旨，卓有成效地开展了多项工作，主要有：（1）通过每年开展的技术交流会、专题研讨会、工程现场观摩交流会等，对空间结构的分析理论、设计方法、制作与施工建造技术等进行研讨，分享新成果，推广新技术，加强安全生产，提高工程质量，推动技术进步。（2）通过标准、指南的编制，形成指导性文件，保障行业健康发展。结合我国膜结构行业发展状况，组织编制的《膜结构技术规程》为推动我国膜结构行业的发展发挥了重要作用。在此基础上，分会陆续开展了《膜结构工程施工质量验收规程》《建筑索结构节点设计技术指南》《充气膜结构设计与施工技术指南》《充气膜结构技术规程》等编制工作。（3）通过专题技术培训，提升空间结构行管理人员和技术人员的整体技术水平。相继开展了膜结构项目经理培训、膜结构工程管理高级研修班等活动。（4）搭建产学研合作平台，开展空间结构新产品、新技术的开发、研究、推广和应用工作，积极开展技术咨询，为会员单位提供服务并帮助解决实际问题。（5）发挥分会平台作用，加强会员单位的组织管理和规范化建设。通过会员等级评审、资质评定等工作，加强行业管理。（6）通过举办或组织参与各类国际空间结构学术交流，助力会员单位“走出去”，扩大空间结构分会的国际影响。

空间结构体系多样、形式复杂、技术创新性高，设计、制作与施工等技术难度大。近年来，随着我国经济的快速发展以及奥运会、世博会、大运会、全运会等各类大型活动的举办，对体育场馆、交通枢纽、会展中心、文化场所的建设需求极大地推动了我国空间结构的研究与工程实践，并取得了丰硕的成果。鉴于此，中国钢结构协会空间结构分会常务理事会研究决定出版“空间结构系列图书”，展现我国在空间结构领域的研究、设计、制

作与施工建造等方面的最新成果。本系列图书拟包括空间结构相关的专著、技术指南、技术手册、规程解读、优秀工程设计与施工实例以及软件应用等方面的成果。希望通过该系列图书的出版，为从事空间结构行业的人员提供借鉴和参考，并为推广空间结构技术、推动空间结构行业发展做出贡献。

中国钢结构协会空间结构分会 理事长
空间结构系列图书编审委员会 主任

薛素铎

2018年12月30日

前 言

铝合金材料在与建筑结构结合过程中突显优势,凭借其轻质高强、耐腐蚀性强、易加工的特点在建筑结构中获得了广泛应用。其中,铝合金空间网格结构是最常用的结构形式之一,主要包括铝合金单层网壳结构、双层网壳结构以及网架结构。节点作为空间结构的传力枢纽,是空间结构的重要组成部分之一。节点的性能对整体结构而言十分重要。由于铝合金材料可焊性较差,空间网格结构中的节点主要采用机械连接形式,节点形式主要有螺栓球节点、板式节点、毂式节点和铸铝节点。其中,螺栓球节点和板式节点应用较为广泛。我国对铝合金结构的研究起步较晚,对铝合金材料的研究多集中在常用建筑材料上,对铝合金节点性能的研究仍不完善,对铝合金空间网格结构的研究仍处于探索期,尚未形成系统的理论体系。本书从铝合金材料、节点、结构等方面出发,通过大量的试验研究、理论分析和数值模拟,系统地研究铝合金空间网格结构的性能特点、分析方法及承载性能设计方法。对研究成果进行整理和精炼,形成本书各章节内容。

全书共分 10 章:第 1 章介绍了铝合金结构的发展过程及工程应用;第 2 章阐述了铝合金材料的特点、分类与性能;第 3 章阐述了铝合金空间网格结构的节点体系、选型要点、设计方法及经济性能优势;第 4 章通过试验研究和数值模拟得到了不同类型铝合金板式节点的抗弯性能和滞回性能,提出了板式节点承载力设计方法;第 5 章通过试验研究和数值模拟分析了铝合金螺栓球节点的抗拉、抗火力学性能和低周疲劳性能,提出了节点承载力计算方法和低周疲劳寿命预测方法;第 6 章研究了铝合金螺栓连接高温力学性能;第 7 章利用数值模拟分析了不同因素对铝合金空间网格结构稳定性能的影响;第 8 章对铝合金空间网格结构的抗震及抗风性能进行了研究;第 9 章对铝合金空间网格结构的抗火性能进行了分析;第 10 章为国内典型铝合金空间网格结构工程实例。

本书研究项目得到了上海通正铝合金结构工程技术有限公司的大力资助与支持,作者在此表示由衷的感谢。

天津大学博士研究生应皎洁、史文浩和硕士研究生刘晓娜、谷傲、许峰、李勃翰、武亚鹏、张桂钦、刘宇、孟祎、谌绍尧、谭志伦等参与了有关章节的分析研究、素材整理、文字编辑和插图绘制等工作;各位前辈、老师和同仁的相关文献为我们的研究开阔了视野,提供了参考,在此一并感谢。

由于作者水平所限,书中难免存在不妥之处,恳请读者批评指正。

目 录

第 1 章 铝合金结构	1
1.1 空间结构的发展	1
1.2 空间钢结构锈蚀	11
1.3 铝合金结构的发展	13
1.4 铝合金结构的工程应用	15
第 2 章 铝与铝合金材料	17
2.1 纯铝与铝合金材料分析	17
2.2 铝合金材料的特点	17
2.3 铝合金材料的分类与命名	18
2.4 铝合金材料基本力学性能	21
2.5 铝合金材料的高温力学性能	22
2.6 铝合金材料的疲劳力学性能	25
第 3 章 铝合金空间网格结构选型与设计	30
3.1 铝合金空间网格结构节点类型与特点	30
3.2 铝合金空间网格结构类型与选型	33
3.3 铝合金空间网格结构设计方法	34
3.4 铝合金空间网壳结构与钢网壳结构对比	38
3.5 铝合金空间网壳结构的经济性能	43
第 4 章 铝合金板式节点力学性能与设计方法	45
4.1 铝合金常规型板式节点抗弯性能试验	45
4.2 铝合金波纹型板式节点抗弯性能试验	56
4.3 铝合金加强型板式节点抗弯性能试验	61
4.4 铝合金常规型板式节点数值模拟	77
4.5 铝合金常规型板式节点承载力设计与计算方法	84
第 5 章 铝合金螺栓球节点力学性能与设计方法	92
5.1 铝合金螺栓球节点抗拉力学性能试验	92
5.2 铝合金螺栓球节点抗火力学性能试验	99
5.3 铝合金螺栓球节点低周疲劳性能试验	108
5.4 铝合金螺栓球节点数值模拟	118
5.5 铝合金螺栓球节点承载力设计与计算方法	138

第 6 章 铝合金板式螺栓连接高温力学性能	148
6.1 铝合金单螺栓连接高温抗拉试验	148
6.2 铝合金螺栓群连接高温抗拉试验	152
6.3 铝合金螺栓连接高温数值模拟	156
6.4 铝合金螺栓连接高温承载力设计与计算方法	165
第 7 章 铝合金空间网格结构的稳定性能	167
7.1 铝合金球面网壳结构	167
7.2 铝合金柱面网壳结构	179
7.3 铝合金索撑网壳结构	193
第 8 章 铝合金空间网格结构的抗震与抗风性能	205
8.1 铝合金空间网格结构抗震设计	205
8.2 铝合金空间网格结构抗风设计	214
第 9 章 铝合金空间网架结构的抗火性能	222
9.1 铝合金空间网架结构计算模型	222
9.2 常温下铝合金空间网架结构响应	225
9.3 火灾中铝合金空间网架结构响应	226
第 10 章 国内典型铝合金空间网格结构工程实例	237
10.1 天津市平津战役纪念馆.....	237
10.2 上海科技馆.....	237
10.3 义乌游泳馆.....	238
10.4 中国现代五项赛事中心游泳击剑馆.....	239
10.5 上海辰山植物园温室.....	240
10.6 武汉体育学院综合体育馆.....	241
10.7 开滦集团曹妃甸数字化煤炭仓储基地.....	242
10.8 “FAST” 500m 口径球面射电望远镜	242
10.9 南京牛首山文化旅游区佛顶宫.....	244
10.10 北京大兴国际机场	245
10.11 上海天文馆	247
10.12 G60 科创云廊	248
10.13 天津金阜桥	249
参考文献	251