

空间结构系列图书

充气膜结构设计与施工技术指南

薛素铎 等 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

充气膜结构设计与施工技术指南/薛素铎等编著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2019. 4

(空间结构系列图书)

ISBN 978-7-112-23489-9

I. ①充… II. ①薛… III. ①充气结构-薄膜结构-结构设计-工程施工-施工技术-指南 IV. ①TU353-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 050684 号

近年来, 充气膜结构在我国得到快速发展, 无论是工程实践还是技术创新, 都积累了丰富的经验。充气膜结构在材料选用、建筑与结构设计、施工安装、使用维护等方面都有其特殊性, 需要专门的知识和技术。中国钢结构协会空间结构分会膜结构专业组编辑出版《充气膜结构设计与施工技术指南》, 以进一步推动充气膜结构的技术发展, 指导充气膜结构的工程实践。本指南编写汇集了国内从事充气膜结构的主要高校和企业, 内容涉及绪论、材料、建筑与设备设计、结构设计、施工、使用与维护、典型工程案例等部分, 可供从事膜结构研究、设计、制作和施工的工程技术人员及高等院校有关专业师生参考。

责任编辑: 刘瑞霞 武晓涛

责任校对: 姜小莲

空间结构系列图书 充气膜结构设计与施工技术指南 薛素铎 等 编著

*

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

北京科地亚盟排版公司制版

北京富诚彩色印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 10¼ 字数: 251 千字

2019 年 4 月第一版 2019 年 4 月第一次印刷

定价: 110.00 元

ISBN 978-7-112-23489-9

(33791)

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

主任：薛素铎

副主任：李亚明 周观根 陈国栋 高继领 王小瑞 黄达达 陈志华
吴金志

委员：白宝萍 蔡小平 陈文明 高博青 耿笑冰 韩庆华 郝成新
李存良 李凯 李明荣 李中立 罗兴隆 唐泽靖子 王丰
王海明 王杰 王平 王双军 王秀丽 王元清 向阳
薛海滨 张其林 赵伯友 支旭东 钟宪华 朱忠义 冯远
罗尧治 武岳 刘枫 罗斌 宁艳池 任俊超 王泽强
许立准 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》《充气膜结构设计及施工技术指南》《充气膜结构技术规程》等编制工作。（3）通过专题技术培训，提升空间结构行业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會研究决定出版“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

充气膜结构作为膜结构的重要类型之一，近些年在我国得到快速发展，据不完全统计，仅 2017、2018 两年间，气承式膜结构在我国的建造数量三百余座。以 2008 年奥运会国家游泳中心“水立方”建造为契机，采用 ETFE 膜材的气枕式膜结构逐步应用于诸多重要工程，其建造数量已逾八十余座。

充气膜结构的工程实践与技术创新，带动了我国充气膜结构行业的发展，除传统从事充气膜结构的公司外，一批新兴企业也开始进入充气膜结构领域。随着近两年全民健身运动的普及和国家对环境保护的要求，以及人民对文化娱乐的需求，充气膜结构有了更多用武之地，在体育场馆、料场封闭、文化娱乐场所等项目中得到大量应用。为满足功能需求，充气膜结构的跨度、单体规模也愈来愈大，这对充气膜结构技术提出了新要求。

与一般膜结构相比，充气膜结构在材料选用、建筑与结构设计、施工安装、使用维护等方面都有其特殊性，需要专门的知识和技术。然而，目前国内还没有针对充气膜结构的技术指南。鉴于此，中国钢结构协会空间结构分会膜结构专业组研究决定，编辑出版《充气膜结构设计施工技术指南》，以进一步推动充气膜结构的技术发展，指导充气膜结构的工程实践。

本指南编写汇集了国内从事充气膜结构的主要高校和企业，主要参加的高校单位有：北京工业大学、同济大学、上海交通大学、哈尔滨工业大学、北京交通大学；主要参加的企业单位有：北京中天久业膜建筑技术有限公司、北京约顿气膜建筑技术股份有限公司、深圳市博德维环境技术股份有限公司、北京法利膜结构技术有限公司、柯沃泰膜结构（上海）有限公司、北京泰克斯隆膜技术有限责任公司、北京光翌膜结构建筑有限公司、上海同磊土木工程技术有限公司、上海太阳膜结构有限公司、北京今腾盛膜结构技术有限公司、上海海勃膜结构有限公司、华诚博远工程技术集团有限公司、华东建筑设计研究院有限公司等。

本指南内容涉及绪论、材料、建筑与设备设计、结构设计、施工、使用与维护、典型工程案例等部分，各部分撰写分工如下：第 1 章，薛素铎、蓝天和李雄彦；第 2 章，吴明儿、陈务军、王秦、王晓峰、孙国军、罗晓群；第 3 章，王秦、王海明、韩更赞、赵宇、谭宁、胡博天、崔家春；第 4 章，龚景海、陈务军、武岳、向阳、王海明、胡博天、谭宁、韩更赞；第 5 章，李中立、瞿鑫、胡博天、谭宁、周文刚、刘东、任思杰；第 6 章，胡博天、王海明、谭宁、王秦、李中立；第 7 章，武岳、陈务军、龚景海、韩更赞、崔家春、王海明、胡博天、王秦、谭宁；全书由薛素铎、李雄彦统稿。

本指南自 2016 年 12 月启动撰写，历时 2 年有余，多次召开会议研讨章节具体内容，对我国充气膜结构的发展和技术进行全面梳理和总结，并对一些技术问题开展深入研究，

在此基础上形成了指南的最终稿。本指南汇集了我国充气膜结构的最新成果，具有技术先进性，对充气膜结构的设计和施工具有较好的指导作用。但由于作者知识水平有限，书中肯定存在不当或不足之处，敬请读者批评指正。

本指南出版得到以下公司的赞助支持：浙江锦达膜材科技有限公司、浙江汇锋新材料股份有限公司、浙江宏泰新材料有限公司、法国法拉利技术织物工业集团中国公司（森翡翠（上海）复合材料有限公司）、上海西幔贸易有限公司（美国西幔公司）、日本旭硝子（AGC）株式会社（上海壹凌实业有限公司）、上海氟洛瑞高分子材料有限公司（德国NOWOFOL有限公司）。附录中列出了上述公司生产膜材的主要参数表，供大家在膜材选用和设计时参考。在此，对上述公司的大力支持表示衷心感谢。

薛素铎

2019年1月于北京工业大学

本书主要章节内容和人员分工

章节内容	负责人	参加人员
前言	薛素铎	
第 1 章 绪论	薛素铎	蓝 天 李雄彦
第 2 章 材料	吴明儿	陈务军 王 秦 王晓峰 孙国军 罗晓群
第 3 章 建筑与设备设计	王 秦	王海明 韩更赞 赵 宇 谭 宁 胡博天 崔家春
第 4 章 结构设计	龚景海	陈务军 武 岳 向 阳 王海明 胡博天 谭 宁 韩更赞
第 5 章 施工	李中立	瞿 鑫 胡博天 谭 宁 周文刚 刘 东 任思杰
第 6 章 使用与维护	胡博天	王海明 谭 宁 王 秦 李中立
第 7 章 典型工程案例	武 岳	陈务军 龚景海 韩更赞 崔家春 王海明 胡博天 王 秦 谭 宁
附录	李雄彦	
全书编辑和统稿	薛素铎 李雄彦	

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 充气膜结构的分类	1
1.2 充气膜结构的发展	2
1.3 充气膜结构在我国的应用与发展	6
1.4 充气膜结构的应用领域	9
1.5 充气膜结构的特点	11
第 2 章 材料	14
2.1 膜材	14
2.1.1 膜材的种类	14
2.1.2 膜材的力学性能	15
2.1.3 膜材的其他物理性能	19
2.2 拉索	20
2.2.1 拉索的种类及其构成	20
2.2.2 拉索的力学性能	22
2.3 保温材料	23
2.4 连接辅件材料	25
第 3 章 建筑与设备设计	26
3.1 建筑设计	26
3.1.1 总体布局设计	26
3.1.2 建筑功能设计	27
3.1.3 建筑形体设计	29
3.2 建筑物理环境设计	31
3.2.1 光环境设计	32
3.2.2 热环境设计	34
3.2.3 声环境设计	36
3.3 建筑防火、疏散设计	36
3.4 门窗设计	37
3.5 设备设计	38
3.5.1 充气系统	38
3.5.2 气承式膜结构控制系统	39

3.5.3	气枕式膜结构控制系统	40
3.5.4	空气调节系统、防雷设计	41
第4章	结构设计	43
4.1	形态设计	43
4.2	索网设计	46
4.2.1	索网功能	46
4.2.2	索网形状	47
4.2.3	常用索网的特点及适用范围	48
4.2.4	索网设计的技术要求	49
4.3	内压设计	50
4.4	荷载及荷载组合	52
4.5	荷载效应分析	55
4.5.1	荷载效应分析的特点	55
4.5.2	内压的模拟	56
4.5.3	气承式膜结构的强度与刚度	56
4.6	裁剪设计	68
4.6.1	裁剪设计的内容和步骤	68
4.6.2	裁剪线布置	69
4.6.3	裁剪的应变补偿	71
4.6.4	裁剪设计的方法	71
4.7	空气泄漏	73
4.7.1	空气泄漏的位置	73
4.7.2	空气泄漏的理论分析	74
4.7.3	空气泄漏的估算	74
4.8	结构塌落与逃生	75
4.8.1	气承式膜结构	75
4.8.2	气枕的塌陷	79
4.9	连接构造	80
4.9.1	膜片间的连接构造	80
4.9.2	膜单元的连接构造	81
4.9.3	膜单元与支承面的连接构造	83
4.9.4	拉索节点的连接构造	85
第5章	施工	89
5.1	加工	89
5.1.1	加工前的准备	89
5.1.2	膜材加工	90
5.1.3	膜单元的包装与运输	91
5.2	安装	91

5.3 充气与调试	97
第 6 章 使用与维护	101
6.1 概述	101
6.2 维护内容	101
6.3 检查和记录	103
第 7 章 典型工程案例	106
7.1 气承式膜结构	106
7.1.1 中央电视台职工健身中心气膜馆	106
7.1.2 北京某国际学校气膜运动馆	111
7.1.3 天津响螺湾体育休闲广场气膜工程	114
7.1.4 神华巴彦淖尔能源有限责任公司选煤厂气膜工程	116
7.1.5 招商港务（深圳）外场充气膜仓库	119
7.2 气枕式膜结构	122
7.2.1 大连体育中心体育场罩棚 ETFE 气枕结构	122
7.2.2 万科东莞植物园 ETFE 气枕膜结构	125
7.2.3 上海迪士尼明日世界创极光轮 ETFE 天幕工程	129
7.2.4 石狮世茂国际广场一期天幕	132
7.3 气囊式膜结构——滨海污水处理厂污水池充气膜加盖工程	135
7.4 气肋式膜结构——某气承与气肋组合式充气膜结构工程	138
附录 充气膜结构材料选用表	144
参考文献	151

