

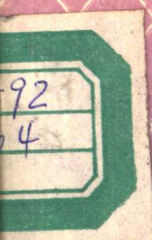
悬索屋盖

〔印〕普雷姆·克里希纳 著

(Prem Krishna)

赵惠麟等 译著

河海大学出版社



悬索屋盖

〔印〕普雷姆·克里希纳 著

(Prem Krishna)

赵惠麟等 译著

河海大学出版社

(苏)新登字第013号

责任编辑 吴劲文
特约编辑 钱亮
责任校对 钱亮

悬索屋盖

〔印〕普雷姆·克里希纳
赵惠麟等 译著

出版发行：河海大学出版社
(南京西康路1号，邮政编码：210024)

经 销：江苏省新华书店

印 刷：兴化印刷厂

(地址：兴化市牌楼西路1号，邮政编码：225700)

开本787×1092毫米 1/32 印张13.5 字数302,000

1992年1月第1版 1992年1月第1次印刷

印 数 1—1000册

ISBN 7-5630-0453-X/TU·18 定价：6.50元

河海版图书若有印刷装订错误可向承印厂调换

内 容 提 要

本译著在介绍印度学者普雷姆·克里希纳 (Prem Krishna) 撰写的关于张力结构专著的基础上, 结合我国国情介绍了悬索及充气两大空间结构体系。

本书全面、系统地阐述了张力结构体系的理论分析、设计、结构模型试验和施工及结构制造等工程问题, 并充分反映了国际间这类结构的科技成就。全书密切结合实际, 内容简明、实用。因此, 它的出版将为这类结构在我国的推广及应用起积极作用。

本书可作为大学工民建专业、建筑学专业学生的教材, 也可供建筑师、结构工程师、土建类研究生和科研工作者及有关制造厂商工程技术人员参考。

译 著 者 的 话

本译著是一本张力结构专著，包含了悬索及充气两大结构体系的内容。

悬索结构由于：①钢索抗拉强度高，结构自重轻而覆盖面积大；②便于建筑造型，能充分满足各种建筑表达形式，故为结构师及建筑师乐于采用。当今跨度最大的为苏联列宁格勒体育馆的双层圆形悬索屋盖（直径为160米）；造型别致的日本东京奥运会体育馆，其平面由两个交叉月牙形组成的悬索屋盖（ 118.08×256 米）更是其代表之作。悬索结构自本世纪60年代初在我国为工程界及学术界所接受与应用，并获得了一定的发展。

自1946年由美国伯德（W·W·Bird）设计的第一个充气结构至今40多年中，由于该类结构受力合理、施工快速、装拆方便、造型优雅，且可解决其他结构体系难于解决的问题，故得到了长足的发展。较著名的充气结构建筑有：日本大阪世界博览会富士馆气肋式充气屋盖（直径为50米）；美国密执安州的庞提亚克气承式充气屋盖（ 168×220 米）。但对这一结构体系的研究与应用在我国尚属起步阶段。

去年我国成功地举办了第十一届亚运会，引起了世界的关注。最近我国正在力争举办2000年的奥运会，为此必须兴建一批国际一流的体育场馆，本书所介绍的结构体系将是合适的对象。然而，由于这两类结构体系的造型及分析计算

均较复杂,人们对其结构性能尚缺乏全面的了解及缺少专门法规的指导,致使其在我国全面推广应用遇到了很大困难。鉴此,我们特翻译了普雷姆·克里希纳(Prem Krishna)撰写的《悬索屋盖》(Cable-Suspended Roofs)这一专著,并结合我国在空间结构应用方面的情况,对原著中的计算机程序作了改造,并添加了崭新的计算机程序,以适应形势的需要。

本专著的特点为:①取材先进。本书的理论分析、结构材料、施工技术等内容均取自近十年国际的最新科技成就;②叙述系统。书中不但涉及了理论分析、设计、施工、结构模型试验的广泛内容,而且还详述了诸如该类结构的动力响应及温度影响的技术难题;③简便、实用。本书旨在切实指导工程实践问题,为此,它通过众多的著名工程实例剖析,使读者从中得到具体借鉴;在计算分析中除了介绍应用广泛、精度高的有限元几何非线性分析法外,还提供了具有实用价值的近似分析法。为加强学术交流,还编入了译著者的最新研究成果和功能齐全、用于工程设计的计算机程序,该程序可直接装入微机运行使用。

本书由赵惠麟、华锡全、单健、杨琦、周志华翻译、著述,史文洁参与了部分初译工作。全书由赵惠麟统稿、审定,宋启根、朱建坤校订。

对原著的错误,译著者已作了订正,并在译文相应处以注明。限于水平,不当处敬请读者指正。

译 著 者

于东南大学 1991.6

前 言

如何更好、更有效地利用室内空间已成为工程师、建筑师及规划师的一个重要研究课题。为提供一个没有视线遮挡的空间，要求采用大跨度屋盖，这就促进了对新的解决办法的研究，建筑材料和施工技术的最新成就对此起了极大的促进作用。悬索及充气屋盖结构的最新发展大大增加了大跨度屋盖的跨度，一些有效的方法相继问世，且前途无量。

过去二三十年里，在这发展极快的领域中，人们已进行了大量研究，出版了大量的技术资料，定期举行的学术会议论文集及杂志，使悬索、气承屋盖的构思得以有效的传播。公开发表或出版的论文给出了这种屋盖多方面有价值的但却是零星的资料。本书收集了索结构的形式、分析方法、设计及施工方面的资料，并作了公正的评述以资设计师参考。书中关于索屋盖的结构分析及动力响应内容相当广泛，并注意保持了与之相应的设计与施工方面的内容，同时对研究领域也作了探讨。在准备原稿的过程中，大量采用了现有文献资料，并列出了参考文献目录。

第一章到第七章讨论了索屋盖的各个方面，第八章简述了充气屋盖，虽然前七章并未直接讨论充气结构，但许多有关问题也能在那里找到解答。第一章介绍了索屋盖的形式、设计思想及其发展史；第二、三章详细介绍了非预应力及预应力索屋盖体系的分析及其特性。这两章提供了有助于设计人员进行近似分析及初步估算的材料，悬索体系离散单元非

线性分析的计算机程序列于附录中；第四章讨论了索屋盖的动力分析；第五章讨论了索系模型研究的试验方法，并列出了若干研究实例；第六章讨论了设计问题、荷载及造价比较，并简述了一些现有结构，此外还给出了进行初步设计及造价估算的示例；第七章以现有结构为例讨论了索屋盖结构所用材料及相应的结构构造。

本著作未涉及一般钢结构及混凝土结构的分析及设计问题，因许多教材对此已作了充分论述。但这并不意味着这部分内容不重要，这只是为了简缩篇幅，以供详述其他著作未涉及的有关索屋盖的内容。尽管在构思和完成本著作过程中注意参阅了有用的资料，我们仍欢迎读者对书稿提出批评与建议，以便今后再版时提高。

作者感谢下列人员各方面的帮助：已故 S.R.斯帕克斯(S.R.Sparkes)向作者介绍了索结构；E.H.盖洛德(E.H.Gaylord, Jr)在我撰写过程中给予的鼓励；笔者的许多朋友、同事、学生，尤其是布里杰什(Brijesh)、钱德拉(Chandra)在我撰写过程中给予的支持；S.P.夏尔马(S.P.Sharma)和 T.N.古普塔(T.N.Gupta)为原稿提出了有价值的批评意见；V.K.古普塔(V.K. Gupta)、J.K.贾殷(J.K.Jain)、巴比尔达斯(Banbir Das)和 M.R.塞蒂(M.R.Sethia)提供了工程实例。对本著作提供有价值技术资料的各业务机构及朋友、作者深表感谢。此外还对为本文不辞劳苦打印书稿的拉米希·夏尔马(Ramesh Sharma)、绘制建筑示意图的纳伦德拉·阿里亚(Narendra Arya)、从事插图工作的 R.K.特雅奇(R.K.Tyagi)也谨此致谢。

普雷姆·克里希纳

(Prem Krishna)

符 号 意 义

A	索的横截面积
B_s	上的压力系数
B_a	名义提升系数
b	基础特征尺寸, 具体根据使用情况定义
c	阻尼矩阵
C_p	风压系数
C_m	附加质量系数
C_d	阻尼系数
c	单位粘结力(风聚力)
D	长度参数, 据具体情况而定
E	杨氏弹性模量
E_t	切线弹性模量
EA	索抗拉刚度
e	索一端到中心点的弦长
e_x, e_z	分别为沿 x 、 z 轴的闭合误差
F_i	索单元 i 中的初始预应力
ΔF_i	力 F_i 的变化
$\Delta F'_i$	由于温度变化而引起力的改变量
F'_i	力的终值, 等于 $F_i + \Delta F_i$
f	索的挠度
G	阵风系数
g	重力加速度

H	索中拉力的水平分量
h	H 的改变量
h'	由于温度改变而引起的 H 值的改变量
H'	H 的终值, 即 $H+h$
K	刚度矩阵
K'	修正刚度矩阵
k_x, k_z	分别为沿 x, z 轴的弹性刚度
k	索的刚度
L	索的跨度
l	索的弧长
$(\Delta l)_e$	弧长为 l 的索的弹性伸长
M	弯矩
M_e	等效简支梁中的弯矩
M	质量矩阵
m	质量; 根据具体情况而定
N	一个索系统中的节点数
P	所施加的集中荷载
P_x, P_y, P_z	分别为沿 x, y, z 轴施加于节点的荷载
P	荷载向量
$P(t)$	随时间变化的荷载向量
P_u	作用于基础的极限抗拔力
p	均布作用荷载; 根据具体情况而定
p_w	风压
q	均布静载, 据具体情况而定
R_x, R_y, R_z	分别为沿 x, y, z 轴的节点力观测值与计算值之差
R	残余列向量

S	索端支承反力
s_i	索单元 i 的初始长度
Δs_i	长度 s_i 的变化
s'_i	索单元 i 的长度终值, 即: $s_i + \Delta s_i$
T	索中张力
ΔT	张力 T 的改变量
$\bar{T}$	桁架束节点的水平力
t	温度变化量或时间; 根据具体情况而定
U	未知量 u, v, w 的列向量
u, v, w	分别为沿 x, y, z 轴的位移
V	速度
V_m	风速的平均量
W	能量; 根据具体情况而定
X, Y, Z	索曲线分别沿 x, y, z 轴的投影
x, y, z	分别为沿 x, y, z 轴的座标
ψ	土壤内摩擦角
γ	土壤单位重量(密度)
ξ	壁摩擦角
δ	对数递减率
ε	应变
σ	应力
$\in$	支承处索的滑移量
$\ominus$	曲率或同量级的常数
$\overline{\ominus}$	与曲率同量级的常数
λ	比率
λ	特征标量值
ρ	质量密度

Φ	无量纲模型位移
$\Phi(x)$	荷载函数
ω	振动圆频率
η	频率(Hz)
α	线性膨胀系数
	迭代解的要求精度
χ	地基形状因子
Ψ	峰值
Ω	基础扰动激励
θ	尺寸折减系数
ζ	临界阻尼系数

目 录

第一章 绪 论	1
§ 1-1 概 述	1
§ 1-2 分析方法的发展	3
§ 1-3 形式及分类	5
§ 1-4 一般设计条件	17
一、规 划	19
二、材 料	20
三、经济性	21
四、耐久性及防火性	22
五、位 移	24
六、安全度	24
§ 1-5 研究领域	25
第二章 自由悬索	28
§ 2-1 概 述	28
§ 2-2 自重作用下的钢索	31
一、悬链线索	31
二、抛物线索	34
三、直线索段	37
四、索形比较	38
五、索的形变	38
§ 2-3 在竖向荷载作用下索的分析	41

一、工况 I: 集中载	41
二、工况 II: 位于中央的均布载	50
三、工况 III: 跨度一端受均布载	52
§ 2-4 一般分析方法	55
一、取索段为悬链线	57
二、符号约定	61
三、关于次效应的修正	61
第三章 预应力索体系	65
§ 3-1 概 述	65
§ 3-2 刚度分析法	67
一、建立方程	68
二、确定索的初始形状	77
三、近似法	82
四、温度影响	86
五、索单元的松弛影响	87
§ 3-3 计算步骤	88
一、算法 1: 修正牛顿—拉夫森法	89
二、算法 2: 牛顿—拉夫森法	91
三、算法 3: 荷载增量法	93
§ 3-4 结构响应与设计参数	95
一、双层索体系	96
二、索桁架	105
三、索网结构	114
§ 3-5 近似分析法	127
一、平面体系	130
二、索 网	151
§ 3-6 支承结构的柔度	153

§ 3-7 能量法	154
第四章 动力分析及动力响应	157
§ 4-1 概 述	157
§ 4-2 集中质量模型分析	158
§ 4-3 近似分析法	166
一、索 网	167
二、索桁架	173
§ 4-4 阻 尼	177
§ 4-5 动力荷载	178
一、风 载	178
二、冲击荷载	184
三、地震荷载	185
§ 4-6 动力响应	186
第五章 模型研究	193
§ 5-1 概 述	193
§ 5-2 量纲分析	194
§ 5-3 比例选择	199
§ 5-4 钢丝模型	200
§ 5-5 量测仪器	202
§ 5-6 模型研究的成果示例	207
第六章 设 计	215
§ 6-1 概 述	215
一、确定几何尺寸	215
二、结构选型	216
三、预应力	223
四、排水及防水	225
§ 6-2 荷 载	225

§ 6-3 荷载组合	227
§ 6-4 一些现有结构的详细介绍——实例研究	229
§ 6-5 造价估算	246
一、结构选型	247
二、荷 载	247
三、估算索尺寸	249
四、设计校核	253
五、造 价	256
第七章 建筑材料与配件	257
§ 7-1 概 述	257
§ 7-2 钢 索	257
一、分 类	258
二、保护层	259
三、力学特性及强度	260
四、预张拉与索长	261
五、钢丝绳与钢绞线	272
六、疲 劳	272
§ 7-3 配 件	274
§ 7-4 屋盖的围护结构	279
§ 7-5 锚 固	286
一、重力锚固	287
二、岩石锚固	287
三、板式基础锚固	287
四、拉力桩锚固	290
§ 7-6 安 装	291
第八章 气承式屋盖	297
§ 8-1 引 言	297

一、发 展	297
二、分 类	298
三、应 用	300
§ 8-2 材料及设备	301
一、材 料	301
二、气肋式体系	301
§ 8-3 建筑构造	302
一、锚 具	302
二、门 窗	304
三、安 装	304
四、维 修	305
§ 8-4 分析与设计	305
一、荷载条件	305
二、薄膜应力	306
三、充气设备的功率	308
§ 8-5 安全性与耐久性	308
第九章 张力结构静力分析程序	311
§ 9-1 概 述	311
§ 9-2 索系静力分析的计算机程序	311
一、一般说明	311
二、程序结构	312
三、源程序	315
四、计算实例	334
1. 本例的数据文件	335
2. 本例的输出数据文件	341
§ 9-3 索、杆及膜组合结构的静力分析程序	358