

大跨度空间结构工程实践

Practice on Long-span Spatial Structures

—— CSWADI 设计案例
Project Study

中国建筑西南设计研究院有限公司 著
China Southwest Architectural Design & Research Institute Corp., Ltd.

中国建筑工业出版社



大跨度空间结构工程实践 ——CSWADI设计案例

Practice on Long-span Spatial Structures Project Study

中国建筑西南设计研究院有限公司 著
China Southwest Architectural Design & Research Institute Corp., Ltd.

中国建筑工业出版社

审图号：GS（2015）1930号

图书在版编目（CIP）数据

大跨度空间结构工程实践——CSWADI设计案例 / 中国建筑西南设计研究院有限公司著. —北京：中国建筑工业出版社，2015.9

ISBN 978-7-112-18118-6

I. ①大… II. ①中… III. ①空间结构—结构工程—案例 IV. ①TU330.4

中国版本图书馆CIP数据核字（2015）第131221号

本书按年代对中国建筑西南设计研究院有限公司在不同时期完成的大跨度空间结构工程案例进行梳理。书中案例不同程度地展现了当时的学术水平与设计成果，体现出时代性、学术性和可读性。

本书可供建筑设计、建筑结构设计从业人员阅读，也可供相关行业人员参考。

责任编辑：武晓涛

书籍设计：京点制版

责任校对：赵颖 关健

大跨度空间结构工程实践——CSWADI设计案例

中国建筑西南设计研究院有限公司 著

*

中国建筑工业出版社出版、发行（北京西郊百万庄）

各地新华书店、建筑书店经销

北京京点图文设计有限公司制版

北京方嘉彩色印刷有限责任公司印刷

*

开本：880×1230 毫米 1/16 印张：24 字数：666千字

2015年12月第一版 2015年12月第一次印刷

定价：168.00 元

ISBN 978-7-112-18118-6

(27441)

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）

《大跨度空间结构工程实践——CSWADI 设计案例》

编委会

主任委员：龙卫国

委 员：肖 林 李承鳌 冯明才 徐尚志 蒋寿时 吴德富 周方中
黎佗芬 郑国英 陈正祥 张 宽 李 琦 钱 方 冯 远

特别顾问

官 庆

编 写

主 编：冯 远 邓开国

成 员：（按姓氏笔画排序）

| | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 上官红 | 马传喜 | 王立维 | 王成志 | 王泽元 | 王爱滨 | 文定坤 | 方长建 |
| 石 军 | 石仁佑 | 付刊林 | 白 翔 | 冯中伟 | 冯淑卿 | 毕 琼 | 朱季昌 |
| 朱思荣 | 朱道清 | 朱禄军 | 伍 庶 | 向新岸 | 刘宜丰 | 刘昭清 | 孙 山 |
| 李 云 | 李心惠 | 杨 文 | 杨 曦 | 肖克艰 | 吴小宾 | 吴存修 | 吴晓冬 |
| 何沛德 | 何建波 | 迟 春 | 张 彦 | 张永才 | 张兴宇 | 张祖强 | 张鼎洪 |
| 张蜀泸 | 陈 伏 | 陈天宜 | 陈文明 | 陈玉玉 | 陈龙渝 | 陈平友 | 陈志强 |
| 陈新兴 | 林世范 | 易 勇 | 罗乾跃 | 周劲炜 | 周定松 | 周魁政 | 郑 挺 |
| 赵广坡 | 赵昭仪 | 赵璧荣 | 胡显智 | 俞敦瑞 | 施国新 | 祝荣和 | 袁天义 |
| 夏 循 | 高晓莉 | 郭 赤 | 唐蓉平 | 黄 展 | 黄宗瑜 | 彭 华 | 彭 浩 |
| 彭建华 | 蒋 文 | 蒋寿时 | 蒋晓莹 | 韩克良 | 廖理安 | 魏 忠 | |

序 言

美国建筑大师赖特说：“建筑，是用结构来表达思想的科学性艺术”。

作为人的本质力量的文化符号，建筑把超凡的空间想象，融进人类文明演进的悠远史诗，代代传承、生生不息。从东方的木式建筑到西方石头建筑，从雅典卫城的古希腊建筑到现代钢筋混凝土的摩天大楼，千百年来，建筑的每一次飞跃都离不开结构技术的革新与发展。

随着人类知识的增加和技术能力的进步，世界各国对空间结构的研究和发展越发重视，空间结构已成为衡量一个国家建筑技术水平高低的标志之一。近些年，我国建筑学界对大跨度空间结构的研究进展十分迅速，涉及悬索、网架、网壳、组合结构和张拉整体等各个类型，这些研究极大地丰富了我国空间结构的研究内容，有力推动了我国建筑科技水平的不断提高。

中建西南院始建于1950年，是中国同行业中成立时间最早、专业最全、规模最大的国有甲级建筑设计院之一。60余年来，一代代西南院人文脉相承，薪火相传，先后培养出包括4名国家设计大师在内的大批建筑设计精英，高端领军人才及专业注册人员拥有量雄踞区域第一，获得国家和省部级以上优秀设计奖700余项，并取得国家奖5金、4银、5铜的创优佳绩。

近年来，中建西南院秉承“拓展幸福空间”的企业使命，始终把科技创新作为企业支撑发展、引领未来的首要工作。依托大型工程的丰富实践，中建西南院在文化博览建筑、医疗建筑、教育建筑、交通体育、商业综合体、住宅等类型方面形成了领先行业的竞争优势，并在大跨度空间结构、复杂钢结构、建筑抗震减震等科研领域进行了积极探索，取得一些成绩。

“问渠哪得清如许，为有源头活水来。”中建西南院空间结构研究和实践方面的成绩，是几代西南院人潜心耕耘、艰苦奋斗的结果。这本案例汇编既是对西南院设计作品的梳理，也是对西南院空间结构设计心得的分享，同时努力兼顾了时代性、学术性和可读性。希望本书的出版，能为促进我国建筑科学技术发展做出一些贡献。

中国建筑西南设计研究院有限公司执行董事、总经理 龙卫国

2015年1月

前 言

建筑物是自古以来人类追求活动空间的产物，随着社会技术的进步，人类对垂直空间的追求产生了多层、高层、超高层建筑，而对水平空间的追求则产生了大跨度建筑。为了抵抗大自然的作用力，实现安全、轻巧、美观的跨越，大跨度建筑凝聚着建筑学的前沿科技，同时也被赋予了更深层次的象征意义，是建筑学荣誉王冠上最闪亮的宝石之一，常成为一个地区乃至国家的标志性建筑，也体现了一个国家的建筑科学技术发展水平。

光阴荏苒，岁月如歌。中国建筑西南设计研究院已经跨越 60 余个春秋。从 1950 年的“国营西南建筑公司”，到今天的“中国建筑西南设计研究院有限公司（简称 CSWADI）”，几经搬迁，数次更名，不变的是一代代西南院人对专业的挚爱和对职业道德的坚守。几代西南院人的辛勤耕耘，创造了西南院的历史。今天，当我们驻足回望，时光斑驳的光影下一段段生动的影像依旧让人温暖而感动，一件件设计作品依旧散发着迷人的光芒。

建院以来，CSWADI 完成了近万项工程设计任务，项目遍布祖国大江南北，涉及海外 10 多个国家和地区，结构形式几乎涵盖当代国内外所有常见类型。建院之初，CSWADI 就致力于大跨度空间结构领域的探索与设计，60 年的积淀与传承、百余项不同结构形式的大跨空间结构工程探索和实践成就了 CSWADI 在大跨度空间结构设计领域的优势。20 世纪 50 年代设计完成中国第一座现代意义上的综合体育馆——重庆市体育馆，20 世纪 70 年代设计完成国内首创 61m 直径轮辐式无拉环双层悬索结构的成都市城北体育馆，20 世纪 80 年代设计完成被业界尊为结构体系与建筑造型和谐典范的拱与索网组合屋盖结构四川省体育馆和采用后张预应力混凝土块体拼装挑篷（即“串葫芦”）的成都市体育场，一件件设计精品无不凝聚了老一辈西南院人的心血与智慧。随着我国综合国力和国际地位的提升，自 20 世纪 80 年代开始，我国加大对欠发达国家的援建力度，CSWADI 设计的可容纳 60000 人的肯尼亚莫伊国际体育中心体育场、馆及可容纳 80000 人的扎伊尔共和国卡玛尼奥拉体育场等项目先后竣工投入使用，彰显了 CSWADI 大跨度空间结构设计实力，也赢得了国际同行的尊重与欣赏。

20 世纪 90 年代计算机技术的飞速发展为大跨度空间结构设计提供了助力，CSWADI 又相继完成了德阳市体育馆、成都双流国际机场等 10 余项大型空间结构设计；步入 21 世纪以来，得益于国内经济持续快速发展，CSWADI 的大跨度空间结构设计又收获了新成果，先后完成了荣获全国优秀工程设计金质奖的重庆奥体中心体育场项目、世界首例大跨度椭球形索承单层网壳结构的常州市体育会展中心体育馆、国内已建成最大跨度铝合金单层网壳结构的中国现代五项赛事中心游泳击剑馆项目、总建筑面积超过 50 万 m^2 的重庆江北机场 T3 航站楼等一大批优秀的设计作品，部分设计成果已达到国际领先水平。

2008 年 5 月 12 日，四川汶川发生震惊世界的 8.0 级特大地震，这片土地上的所有建筑都被迫接受真实振动台上足尺试验的检验，值得欣慰的是 CSWADI 的设计成果全部顺利通过了此次强震的考验。

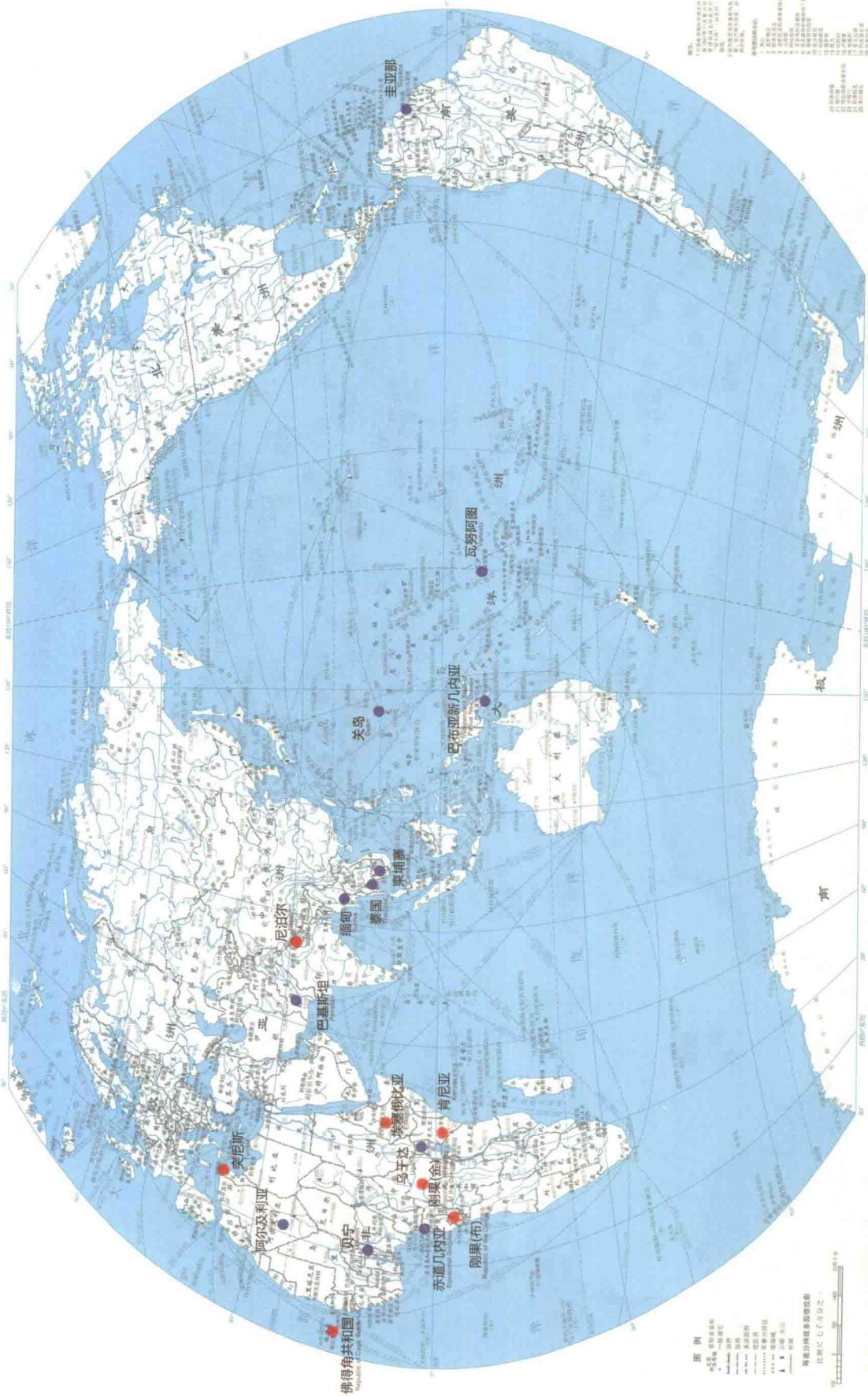
六十余载征程，已成为历史，新的时代，已然来临。当我们向着百年老店目标迈进时，最不应当忘

却的是几代西南院人的付出与坚守。为此，我们编辑此书，概览 CSWADI 在不同时期完成的大跨度空间结构部分作品，诠释西南院人的精神与情怀。限于篇幅，我们无法太多展示这些作品的学术价值而仅呈现了设计成果，然而这些精准设计所折射出设计者扎实的理论功底和丰富的工程经验又总能使人不禁心生敬意。

我们，在途中，手握接力棒，不断向前求索。

中国建筑西南设计研究院有限公司总工程师 冯远

2015 年 1 月



图例

- 大跨度空间结构工程项目
- 其他工程项目

比例尺 1:10000000

CSWADI 海外项目分布
 CSWADI OVERSEAS BUSINESS DISTRIBUTION

● 大跨度空间结构工程项目
 ● 其他工程项目

C | 目 录 |

Contents

1979 年以前

- ◆ 成都市城北体育馆 / 2
- ◆ 重庆市体育馆 / 19
- ◆ 成都市锦江大礼堂 / 19
- ◆ 四川省展览馆 / 20
- ◆ 成都市白下路体育馆 / 21

1980—1989 年

- ◆ 四川省体育馆 / 24
- ◆ 成都市体育中心体育场 / 33
- ◆ 肯尼亚莫伊国际体育中心体育场 / 39
- ◆ 肯尼亚国家体育综合设施体育馆 / 42
- ◆ 扎伊尔共和国卡马尼奥拉体育场 / 44
- ◆ 中国西南航空公司 886 号机库 / 47
- ◆ 拉萨贡嘎机场候机楼 / 49
- ◆ 佛得角共和国人民议会堂 / 51
- ◆ 自贡恐龙博物馆 / 51
- ◆ 成都市体育中心体育馆 / 52
- ◆ 四川温江体育馆 / 52
- ◆ 突尼斯比塞大体育馆 / 53
- ◆ 厦门市体育发展中心体育馆 / 53
- ◆ 厦门市体育发展中心体育场 / 54
- ◆ 中国民航广汉飞行学院体育馆 / 54
- ◆ 成都市工人文化宫体育馆 / 55
- ◆ 四川乐山体育馆 / 55

1990—1999 年

- ◆ 德阳市体育馆 / 58
- ◆ 成都双流国际机场 T1 航站楼 / 66
- ◆ 埃塞俄比亚国家体育场 / 69
- ◆ 民航 103 厂飞机修理库 / 72
- ◆ 西南财经大学体育馆 / 75
- ◆ 四川大学体育馆 / 78
- ◆ 珠海游泳馆 / 83
- ◆ 重庆洋河体育馆 / 83
- ◆ 尼泊尔体育设施改扩建工程 / 83
- ◆ 成都理工大学体育馆 / 84
- ◆ 绵阳南郊机场航站楼 / 84
- ◆ 铜梁龙都体育馆 / 85

2000—2009 年

- ◆ 重庆奥体中心体育场 / 88
- ◆ 重庆奥体中心游泳馆、跳水馆 / 101
- ◆ 常州市体育会展中心体育场 / 106
- ◆ 常州市体育馆会展中心 / 114
- ◆ 青岛体育中心体育馆 / 132
- ◆ 青岛体育中心游泳跳水馆 / 138
- ◆ 青岛体育中心综合训练馆 / 142
- ◆ 镇江体育会展中心体育场 / 145
- ◆ 镇江体育会展中心体育会展馆 / 149
- ◆ 镇江体育会展中心综合训练馆 / 158
- ◆ 成都双流国际机场 T2 航站楼 / 163

2000—2009年

- ◆ 中国现代五项赛事中心游泳击剑馆 / 176
- ◆ 昆明星耀体育运动城体育场馆 / 186
- ◆ 重庆渝北体育馆 / 189
- ◆ 成都市文化宫新建工程 / 197
- ◆ 成都火车东客站 / 203
- ◆ 自贡市体育中心体育场 / 213
- ◆ 自贡市体育中心网球馆 / 217
- ◆ 自贡南湖体育馆 / 219
- ◆ 雅安市体育中心体育场 / 222
- ◆ 成都市烟草物流中心 / 226
- ◆ 西昌青山机场航站楼 / 230
- ◆ 四川理工学院汇东新校区体育馆 / 234
- ◆ 新津水互动中心 / 241
- ◆ 成都市沙河综合整治工程控制中心 / 246
- ◆ 西南交大新校区体育场 / 249
- ◆ 江汉大学体育馆 / 251
- ◆ 达县师范专科学校新校区体育馆 / 255
- ◆ 遂宁船山体育馆 / 258
- ◆ 成都电子科技大学体育馆 / 258
- ◆ 广元机场航站楼 / 258
- ◆ 成都公安局车辆管理所 / 259
- ◆ 国防科技大学体育馆 / 259
- ◆ 四川农业大学体育馆 / 259
- ◆ 遵义汇川体育文化中心体育馆 / 260
- ◆ 万州五桥机场航站楼 / 260

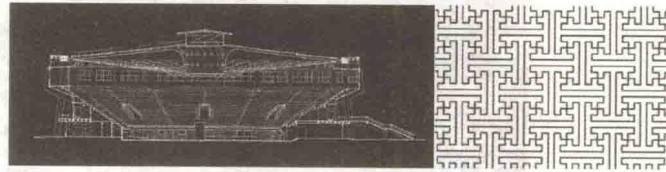
2000—2009年

- ◆ 成都现代体育公园网球中心 / 260
- ◆ 四川省青少年体育中心综合训练馆 / 261
- ◆ 华中师范大学体育馆 / 261
- ◆ 广安体育馆 / 261
- ◆ 成都龙泉专用足球场 / 262
- ◆ 成都信息工程学院体育馆 / 262
- ◆ 贵阳大剧院 / 262
- ◆ 南充体育中心 / 263
- ◆ 达州市体育中心体育馆 / 263
- ◆ 四川西华大学体育馆 / 263
- ◆ 三亚体育会展中心体育场 / 264
- ◆ 三亚体育会展中心体育馆 / 264
- ◆ 三亚体育会展中心游泳馆 / 264
- ◆ 重庆南岸体育中心游泳馆 / 265
- ◆ 成飞体育馆 / 265
- ◆ 永川体育中心 / 265
- ◆ 成都技师学院迁扩建工程风雨操场 / 266
- ◆ 南江县体育馆 / 266
- ◆ 南江县电影院 / 266
- ◆ 成都七中高新校区体育馆 / 267
- ◆ 雅安市体育中心体育馆 / 267
- ◆ 成都军区体育馆 / 267

2010—2014 年

- ◆ 重庆江北国际机场 T3A 航站楼 / 270
- ◆ 青岛胶东国际机场航站楼 / 282
- ◆ 成都天府国际机场航站楼 / 286
- ◆ 徐州市奥体中心——体育场、
综合训练馆、游泳跳水馆、球类馆 / 291
- ◆ 泰州体育公园体育场 / 302
- ◆ 泰州体育公园体育馆、游泳馆 / 308
- ◆ 滁州市体育中心体育场、游泳馆 / 313
- ◆ 滁州中学体育馆 / 321
- ◆ 天全体育馆 / 326
- ◆ 武汉体育学院综合体育馆 / 329
- ◆ 巴中体育场 / 331
- ◆ 中国国际西部博览城 / 335
- ◆ 郫县体育中心 / 344
- ◆ 银川绿博园主题馆、四季馆 / 349
- ◆ 碧潭园会所 / 354
- ◆ 遵义科技馆 / 357
- ◆ 成都金沙艺术剧院 / 364
- ◆ 成都医学院风雨操场 / 367
- ◆ 碧潭园体育公园 / 367
- ◆ 青白江区文化体育中心 / 367
- ◆ 成都火车南站 / 368
- ◆ 六盘水师范学院体育馆 / 368

1979 年以前



成都市城北体育馆



图1 体育馆外景

1 工程概况

成都市城北体育馆位于成都市体育公园内，该馆是在原体育公园内于1975年建成的5000座露天灯光球场并保留原有看台的前提下改建而成。改建后体育馆建筑平面为圆形，底层直径65m，建筑面积7482m²，观众座席6000人，可满足篮球、排球、体操等多种比赛要求。

该工程抗震设防烈度7度，场地土类别Ⅱ类。1979年完成设计，1980年建成。在2008年“5·12汶川地震”和2013年“4·20芦山地震”中，该工程主体结构保持完好。

该工程曾荣获1970～1979年度国家优秀设计奖、1970～1979年度四川省优秀设计一等奖、1987年度四川省科学技术进步三等奖等。

2 结构设计特点

(1) 由于原基础的承载能力已达饱和状态,无法在原框架柱上支承屋盖系统。结合现场具体条件,经多方案比较后确定采用另立外柱的设计方案。

(2) 因原建筑为圆形,故新设置的外柱仍按原柱网放射性布置,建筑外围直径 68.2m,柱顶中心线直径 61m,根据建筑外形设计的需要,首次采用了内倾式预制钢筋混凝土柱,在柱两面设置双层挑梁,使新旧建筑的结合和增设座位问题得到妥善解决,并使建筑造型更加新颖美观。

(3) 屋盖采用国内首创的 61m 直径轮辐式无拉环双层悬索结构。外环为钢筋混凝土圈梁,截面 $1.4\text{m} \times 1.1\text{m}$,支承在 24 根倾斜式钢筋混凝土框架柱上;内环为直径 8m 高 6m 的型钢支架。屋面为 0.8mm 厚合金铝板,下设型钢檩条和木基层,整个屋盖重量分别由上下各 24 根通长钢索承担。每束主索均由 $20\phi^s$ 高强钢丝组成,用锥形螺杆锚具锚固于边缘构件中。

该工程组合屋盖结构受力合理,力的传递线路明确,施工简便、经济指标良好。结构体系与建筑造型和谐统一,创造了完整、新颖、独具一格的建筑形象。

3 结构选型

通过对国内外大跨度工程的分析对比,结合具体条件,本工程将常见的圆形双层悬索屋盖中心环的构造加以改进,使钢索不在中心内环处中断直接通过内环横贯全跨,从而改变了中心环受强大拉力的工作状态。这样,内环上下弦不受力,仅立柱受压。这一改进,不仅仍然具有中心环为拉环的圆形双层悬索屋盖形式的全部优点,而且在构造、制作和施工上都更为简便,同时还能节省中心环钢材 50% 左右,节省钢索在中心环处的全部锚具或钢销、槽钢等钢材。当然,在中心环处需要增加钢索横穿内环部分用的高强钢丝。尽管这部分高强钢丝的材料单价比一般钢材高 2 ~ 2.5 倍,但高强钢丝的强度却比一般钢材高 4 ~ 4.5 倍。因此,无论是单一的材料用量或是材料费用,都比采用受拉中心环经济。另外,采用无拉环悬索结构,在施工过程中校正中心环居中就位以及一旦某一根钢索有问题需要抽换时都不如有拉环的悬索结构方便。

为了稳妥地采用这种悬索结构,设计过程中另设计并制作了一个缩小比例的模型,在四川省建筑科研所的协助下,做了构造和计算理论的验证试验。试验数值与理论计算结果基本相符。

对悬索结构来讲,锚具和钢束的选用是结构设计和施工技术中极其重要的一环,经多方面分析比较后决定锚具采用铁道部成都桥梁厂专为预应力桥梁生产用的商品锚头——钢筋混凝土环销锚具,钢索采用平行钢丝束(不绕捻),这种钢索普遍用于悬索桥结构及预应力钢筋混凝土铁路桥梁结构。

4 钢索计算

因该工程设计时计算机技术尚未在建筑工程中普遍应用,并且这种轮辐式无拉环双层悬索结构与有拉环双层悬索结构受力有所区别,其索力及变形量等无现成的计算公式可循,故根据屋盖结构体系构成