

# 大跨超高建筑结构设计及施工

张因

英山县建筑勘察设计院

**摘要:** 针对建筑超大空间和功能需求, 综合考虑结构受力、建筑造型、经济性、可施工性等因素。本文结合某案例进行相关探讨。

**关键词:** 大跨超高; 建筑结构; 设计施工

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2021.01.232

## 一、工程概况

某建筑净空需求为长170m、宽105.2m、高87m, 三面封闭, 一面设80m×65m大门, 顶部设5t电动葫芦。该建筑具有跨度大、结构高耸、超长、投资控制严格等特点, 设计中需从使用功能和建设条件入手, 从结构受力、功能造型、经济性、可施工性等方面进行分析比较, 在此基础上构建结构方案, 以达到结构安全可靠、结构与功能造型融合、方便施工、质量可控、技术经济良好的目的。国内外大跨度结构和高耸结构较多, 但既跨度大又高耸的结构较少。与一般大跨度结构受力不同, 大跨高耸建筑还要承受很大的水平荷载作用, 对结构的抗侧力体系要求高, 此外建筑设80m×65m大门, 门体对结构的受力、变形都提出了很高的要求, 这都加大了结构设计的难度。设计中为发挥结构整体受力性能, 把屋盖结构与竖向支撑融合为一体考虑, 主体形状拟合产品需求, 充分发挥拱形结构受力性能, 设计成正放四角锥网壳结构, 大门门框与山墙结构刚度协调, 减小结构扭转效应, 共同与主拱组成空间性能好的空间网格结构。

## 二、结构设计

### (一) 主体结构

主拱采用拱形双层正放四角锥网壳结构。图1给出了主拱结构剖面, 上部采用柱面双层网壳结构, 柱面网壳与倾斜网架立柱相切, 立柱倾斜角 $7.5^\circ$ , 双层网壳和网架网格为 $4.5\text{m}\times 4.5\text{m}$ , 矢高4.5m。建筑底部外弦立柱轴线宽105.2m, 外弦拱高87m。由于拱的曲面形态, 截面内力以轴力为主, 弯矩峰值较小, 且变化平缓。水平风荷载作用下, 柱脚弯矩设计值较小, 拱架整体上表现为受压, 材料利用率高, 斜立柱底部弦杆管径400mm, 拱顶弦杆管径为159~203mm, 腹杆最小管径为102mm。利用上部拱形空间布置悬挂设备, 立柱倾斜后, 可利用下部空间将建筑外测设房间布置于建筑内, 有利与工作展开。

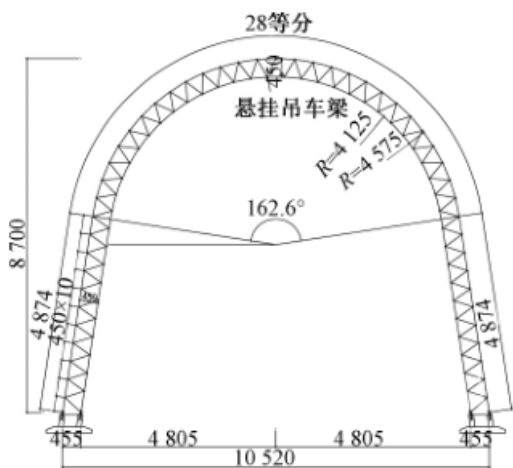


图1 主拱剖面 cm

对一般大跨结构, 山墙通常设置格构式抗风柱, 高度一般在30m以下, 柱下铰接, 柱上部设支撑杆, 放松竖向约束。该建筑高87m, 荷载作用下主拱水平变形达550mm, 拱顶为弧线形, 拱顶节点设摇摆支撑处理很困难, 本工程山墙设置成上弦支撑的整片网架结构, 网架网格尺寸 $3.75\text{m}\times 4.5\text{m}$ , 矢高4m, 基础支座仍采用上下弦双排支撑。

### (二) 节点及柱脚设计

为方便施工尽可能采用小杆件和螺栓球节点, 为此在方案设计中, 进行了三层与双层网壳结构的比选。为减小弦杆轴力, 三层网架网格调整为 $3\times 3\text{m}$ , 矢高2.25m, 总矢高4.5m, 杆件和节点数量较双层网架增加1倍多, 由于结构跨度达结构高耸, 拱顶、拱腰和柱脚节点仍然以焊接球为主, 采用混合节点后, 对施工不一定有利, 最终结构采用双层网壳结构, 由于弦杆最小直径基本均在159mm以上, 杆件拉压轴力大, 因此本结构18m网架均采用焊接球。由于弦杆杆径较大, 腹杆杆径不大, 为减小空心球球径, 空心球外径与主钢管外径之比取 $2.0\sim 2.2$ , 较规范推荐值小。当连接杆件较多时, 允许腹杆与腹杆或腹杆与弦杆相交汇。斜立柱及加强门框部分, 弦杆直径为400mm, 采用相贯节点。拱形结构可采用上弦支撑、下弦支撑、上下弦双排支撑。上、下弦支撑柱脚无附加弯矩, 但跨中挠度和杆件轴力较大, 上弦支撑与下弦支撑相比, 内力峰值可减小30%左右, 杆件内力变化均匀。双排支撑可提高结构刚度, 减小跨中挠度和杆件轴力, 减小结构侧移, 但柱脚会产生附加弯矩, 上下弦弦杆轴力大, 增大约30%左右, 对基础变形要求高。

## 三、结构分析与计算

### (一) 设计荷载及参数取值

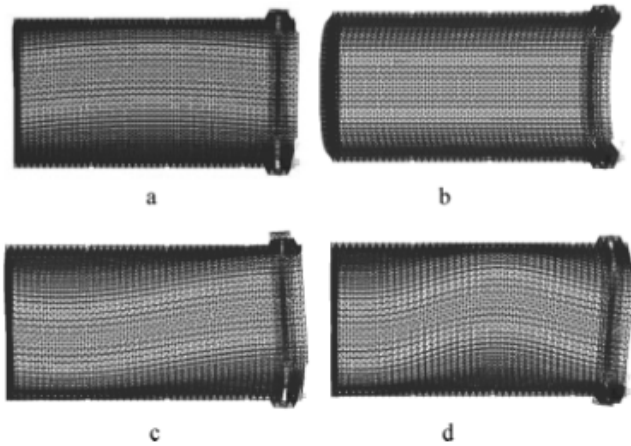
结构设计使用年限50年, 结构设计安全等级二级, 抗震设防烈度为7度, 设计基本地震加速度值为 $0.15\text{g}$ , 设计地震分组为第一组, 抗震设防分类为乙类。屋面、墙面恒荷载为 $0.35\text{kN/m}^2$ , 屋面活荷载取 $0.5\text{kN/m}^2$ 。场地土类型为中硬场地土, 场地类别为II类, 3层粉土地基承载力特征值为 $120\text{kPa}$ 。拉杆长细比 $[\lambda]\leq 180$ , 压杆长细比 $[\lambda]\leq 150$ , 支座弦杆长细比 $[\lambda]\leq 80$ 。结构在恒荷载和活荷载标准值的作用下的挠度 $[f]\leq L/250$ , 悬挂吊车运行下结构最大挠度 $[f]\leq L/400$ 。水平荷载作用下结构侧移对结构的用钢量影响很大, 不易盲目提高, 应综合考虑弦杆荷载作用下的应力比, 共同确定。经计算分析, 当 $[u]$ 等于 $H/150$ 时, 此侧移值对应杆件应力比为0.82左右, 本工程 $[u]\leq H/150$ 。门顶梁、弦杆、门框主桁架及关键杆件应力比不大于0.8, 腹杆不大于0.9。

### (二) 地震作用下结构分析

该结构形态不同于一般大跨结构, 兼具有大跨结构和高层结构特点, 需进行竖向和水平抗震验算。设计中采取了协调门框、山墙刚度, 避免产生整体扭转, 加强结构整体空间作用, 结构底部弦杆钢管中灌注混凝土, 加强底部, 减小上部结构重量等抗震构造措施。本工程跨度达105m, 抗震验算时分别进行了多遇地震和罕遇地震抗震验算, 结构前4阶自振周期为1.34, 1.19, 1.11, 0.82s, 前4阶振型的振动形态如图2所示。由于上部结构轻、结构整体性好, 地震作用下结构的横向水平位移, 最大值约为60mm, 侧移值约为 $1/1450$ , 结构侧移值小, 地震作用不是结构设计控制因素。

### (三) 风荷载作用下结构分析

本工程风荷载应取重现期为设计使用年限, 但由于该结构为高柔大跨结构, 对风作用敏感, 基本风压的取值应适当



a—第1阶;b—第2阶;c—第3阶;d—第4阶。

图2 前4阶拆型

提高,本工程计算风压按50年一遇基本风压乘以1.1增大系数取值。柱面网壳结构体型系数各国规范出入特别大,一方面是由于体型不规则,另一方面测定体型系数的风洞试验存在着不定性。图3给出了澳大利亚、美国、前苏联、中国规范中柱面网壳体型系数。本工程计算中按《建筑结构荷载规范》(GB50009—2012)中表8.3.1第4项和第26项取值。对于基本自振周期大于0.25s的空间网格结构,应考虑风压脉动对结构产生的风振影响,宜依据风洞试验结果按随机振动理论确定,一般网架和网壳风振系数不超过1.5,对于相对比较柔的看台

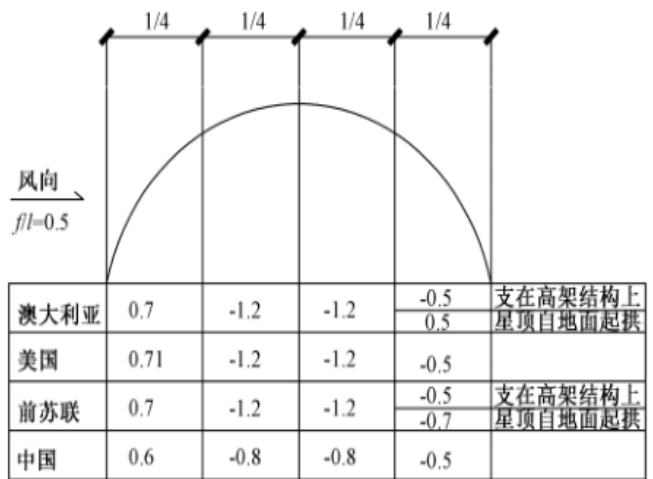


图3 柱面拱壳体型系数

挑棚风振系数可达1.9。

**结束语**

结构采用混合节点,对受力较大及门框等关键部位采用相贯节点,其余部位采用焊接球节点,采用双排柱支撑加强底部杆件,采用埋入可调试柱脚,结构受力性能好,经济性和施工性突出。

**参考文献**

[1] 史开军. 概念设计与结构措施在建筑设计中的应用分析[J]. 中外企业家, 2017(14):191+195.

(上接第351页)

选,矿物油变压器油呈主导优势,约占市场份额95%。矿物油变压器油主要由环烷基油和石蜡基油加工获得,成分主要为直链烷烃、异构烷烃、环烷烃和芳香烃。在使用矿物油变压器油时重点关注芳香烃对土壤的污染。芳香烃可通过皮肤和呼吸进入人体,影响健康,大量摄入可诱发癌症、白血病等一系列重大治病。因此在考虑现有市场上工业用地矿物油变压器油对土壤污染程度时,应详细排查芳香烃的浓度含量是否符合《土壤环境质量建设用土壤污染风险管控标准》(GB36600-2018试行)表2建设用土壤污染风险筛选值和管制值(基本项目),确定风险水平,判断是否需要采取风险管控或修复措施。

本次参考调查地块中,30%地块有检出芳香烃,但未超风险控制水平。其余70%地块未检出芳香烃。考虑这一检测结果成因:一、受限于实际工作中可操作性和技术可达性,痕量的芳香烃未能检出;二、变压器在实际操作中日渐规范,减少变压器油跑冒滴漏的情况,即使少量变压器油跑冒滴漏,也仅停留于硬地面上,未对土壤造成污染。

**三、小结**

通过对变压器油的工艺与材料发展的进一步了解,使我对且尊重工业发展过程中对环境影响是客观存在的。在进行工业场地土壤污染状况调查时,针对变压器油跑冒滴漏污染土壤的

情况,必须结合地块历史沿革,分析不同时期变压器来源变压器油种类,有针对性地筛选特征因子。明确特征因子是多氯联苯类还是芳香烃,高效、准确地分析土壤污染状况,有针对性地体现前期调查地成果,为下一步检测工作奠基。

随着《土壤和沉积物多氯联苯的测定气相质谱法》检测标准以及各种污染物检测方法逐步更新,检测方法科学性的提高,检出限精度也在提高,有助于提高土壤污染调查污染因子检测的准确率。展望未来,在科学进步的大环境下,势必增加我们对保护环境的方法与能力。遵循可持续发展方针,使人类和自然和谐共处。

**参考文献**

[1] 陈之敏. 变压器油综述[J]. 合成润滑材料, 2018(45)3: 28-31.  
 [2] 宇振东, 陈定茂. 多氯联苯污染及其毒性[J]. 环境科学丛刊, 1986, 05: 57-61.  
 [3] 初蕾. 变压器油中存在多氯联苯(PCB)的危害[J]. 大连供电公, 2015, 09: 103.  
 [4] 降巧龙, 周海燕, 徐殿斗, 柴之芳, 李一凡. 国产变压器油中多氯联苯及其异构体分布特征[J]. 中国环境科学, 2007, 27(5): 608-612.